

## ANSYS 8.1 (Mikrosystementwurf)

### 10. Beispiel

Das dynamische Verhalten einer 800 µm langen Si-Mikrozunge, die nichtharmonisch, transient erregt wird, soll analysiert werden. Die einseitig fest eingespannte Mikrozunge wird durch Anlegen einer Kraft am freien Ende ausgelenkt und danach bei sprungförmiger Wegnahme der Last sich selbst überlassen. Untersucht wird das Zeitverhalten der Struktur unter Berücksichtigung von Trägheits- und Dämpfungseffekten (Analyse im Zeitbereich / Time-History Analysis). Um die Parameter des Programms für die Rayleigh-Dämpfungswerte festlegen zu können ist zunächst eine Modalanalyse erforderlich.

### ANSYS Utility Menu

- > File
- > Change Jobname "Transient", OK
- > File
- > Change Title "Transiente Erregung", OK

### Geometrie

#### ANSYS Main Menu

- > Preprocessor > Modelling
- > Create > Volumes > Block > By 2 Corners & Z
  - WP X "0"
  - WP Y "0"
  - Width "0.8"
  - Height "0.1"
  - Depth "0.2", OK

#### Biegezunge

Länge: 0.8 mm

Höhe: 0.1 mm

Dicke: 0.2 mm

Menüleiste rechts: Perspektive "Isometric view" wählen

#### ANSYS Main Menu

- > **Preprocessor**
- > Element Type, > Add/Edit/Delete
- > Add > Solid > Brick 8node 45, OK
- > Close
- > Material Props
- > Material Models
- > Structural > Linear > Elastic
- > Isotropic, EX "1.689e5", PRXY "0.064", OK
- > Density DENS "2.329e-9", OK
- > Material > Exit

Elementtyp: SOLID 45

#### Materialparameter

Elastizitätsmodul [MPa]

Querdehnzahl, Dichte [t/mm<sup>3</sup>]

## **ANSYS Toolbar**

> SAVE\_DB

## **ANSYS Main Menu**

> Preprocessor > Meshing > MeshTool  
Element Attributes "Global"  
Size Controls, Global > Set  
Element edge length "0.05", OK  
Mesh "Volumes"  
Shape "Hex" + "Mapped"  
> Close  
> Meshing > Mesh > Volumes  
> Mapped > 4 or 6 sided, Pick All

Vernetzung: hexagonal

## **ANSYS Toolbar**

> SAVE\_DB

## **ANSYS Main Menu**

> Preprocessor > Loads > Define Loads  
> Apply > Structural  
> Displacement, > On Areas  
Stirnseite hinten anklicken, OK  
DOFs to be constrained "All DOF", OK

einseitige, feste Einspannung

## **ANSYS Utility Menu**

> File, > Save as "Transient.db", OK  
Zustands

Sicherung des aktuellen

## **Modalanalyse**

### **ANSYS Main Menu**

> Solution > Analysis Type  
> New Analysis > Modal, OK  
> Analysis Options > Reduced  
No. of modes to be expand "2", OK  
Frequency range "2e5, 5e5",  
Normalize mode shapes "To unity", OK  
> Master DOFs > Program Selected  
Total no. of master DOF "12", OK

> Solution > Solve  
> Current LS  
> File, Close  
(⇒ Solve Current Load Step), OK

***Solution is done !***

> Close

- > General Postproc
- > Results Summary

Liste der Eigenfrequenzen

### Eigenfrequenzen:

**f1 = 213... Hz      f2 = 415... Hz**

Ergänzen Sie die letzten Ziffern der Eigenfrequenzen zu den beiden Biegegrundschwingungen; vergleichen Sie mit den Vorgaben des Seminarleiters.

#### Anmerkung:

Der vorliegende Biegeschwinger ist gedämpft; angenommen wird Rayleigh-Dämpfung. In diesem Kontext gilt folgende Formel für die geschwindigkeits-proportionale Dämpfungskraft pro Längeneinheit:

$$\frac{\Delta F}{\Delta x} = \rho A (\alpha + \beta \omega^2) \dot{u} = 2D\omega\rho A \dot{u} \quad \text{mit}$$

- $\rho A$       Masse/Länge
- $\omega = 2\pi f$       Eigenkreisfrequenz
- $\dot{u}$       lokale, zeitliche Änderungsrate der Durchbiegung
- $D$       Dämpfungsgrad (Lehrsches Dämpfungsmaß)

Die beiden Summanden mit den Proportionalitätsfaktoren  $\alpha$  und  $\beta$  charakterisieren die Dämpfung der schwingenden Struktur durch ein umgebendes Medium bzw. die innere Dämpfung des Systems; erstere ist an die Massenverteilung gebunden, letztere ist an die elastischen Verformungen (Steifigkeit des Systems) geknüpft.

Um im interessierenden Frequenzbereich zwischen beiden Grundbiegeschwingungen etwa gleichwertige, konstante Dämpfungsgrade  $D$  zu sichern, müssen die Rayleigh-Dämpfungswerte "ALPHAD" und "BETAD" zum ANSYS Programmsystem folgenden Voraussetzungen entsprechen:

$$\begin{array}{lcl} \frac{\alpha}{2\omega_1} + \frac{\beta}{2}\omega_1 = D & \text{d.h.} & \alpha = \frac{2\omega_1\omega_2}{\omega_1 + \omega_2} D \quad \left[ \frac{1}{s} \right] \\ \frac{\alpha}{2\omega_2} + \frac{\beta}{2}\omega_2 = D & & \beta = \frac{2}{\omega_1 + \omega_2} D \quad [s] \end{array} \quad \text{mit den Maßeinheiten}$$

Der  $\alpha$ -Anteil wirkt vorwiegend im niedrig-frequenten Bereich, der  $\beta$ -Anteil dämpft primär hohe Frequenzen.

**D = 0.01    →    Berechnen Sie die Werte  $\alpha$  und  $\beta$**

## ANSYS Utility Menu

> File > Resume from "Transient.db"

Rekonstruktion des aktuellen Modells

## ANSYS Main Menu

> Preprocessor > Loads > Analysis Type  
> New Analysis, Type of analysis "Transient", OK  
Analyse  
Solution method "Reduced", OK  
> Analysis Options, Damping effects "include", OK

Transiente dynamische

> Load Step Opts  
> Time/Frequenc  
> Time - Time Step  
Time step size "1e-5", OK

Zeitschritte für numerische, transiente Analyse

*Achtung: Die Zeitschritte sollten größer sein als der Wert  $1/2f_1$  (Nyquist-Shannon-Abtasttheorem)*

> Loads > Define Loads > Apply > Structural  
> Force/Moment > On Nodes  
mittleren Knoten der Unterkante an der freien Stirnfläche anklicken, OK  
Direction of force/mom "FY"  
Force/moment value "-2e-5", OK

**Vorlast** festlegen

[N]

> Master DOFs  
> User Selected  
> Define  
mittleren Knoten der Unterkante an der freien Stirnfläche anklicken, OK  
1st degree of freedom "UY", OK  
> Programm selected  
Total no. of master DOF "12",  
Exclude rotational DOF "Yes", OK

Hauptfreiheitsgrade

> Solution > Solve  
> Current LS  
(⇒ /STAT Command) > File, Close  
(⇒ Solve Current Load Step), OK

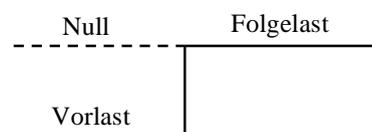
Anfangsverschiebungen

**Solution is done !**

> Close

**Folgende Schritte ließen sich für jedes, mögliche weitere Lastintervall inklusive der geänderten Intervallzeiten und –lasten wiederholen**

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



mittleren Knoten der Unterkante an der freien Stirnfläche anklicken, OK

> Apply, Direction of force/mom "FY"

Force/moment value "0", OK

**Folgelast** = 0 [N]

> Load Step Opts

dynamischer Lastverlauf:

> Time/Frequenc

> Time - Time Step

Time at the end of the load step "1e-4",

Stepped or ramped b.c. "Stepped",

Automatic time stepping "Prog Choosen", OK

Intervallzeit: Folgelast  
sprunghafte Laständerung

> Damping

Rayleigh-Dämpfung

Mass matrix multiplier ".....", ← (Wert:  $\alpha$ )

Stif. Matrix multiplier ".....", OK ← (Wert:  $\beta$ )

> Output Ctrl

> DB/Results File

File write frequency "Every substep", OK

Resultate zu allen  
Zeitwischenschritten

> Solution > Solve

> Current LS

(⇒ /STAT Command) > File, Close

(⇒ Solve Current Load Step), OK

***Solution is done !***

> Close

> TimeHist Postpro

Verhalten im Zeitbereich

(⇒ Time History Variables)

Anzeigebereich Calculator ausblenden (mittlere Leiste),

Höhe des Fensters auf Anzeige von etwa 2 Datensätzen reduzieren,

Fenster außerhalb des Anzeigebereichs im Hauptfenster verschieben

> File > Open Results

zum Projekt gehörige Ergebnisdatei mit dem Suffix *rdsp* auswählen (s. Jobname)

Transient.rdsp, Öffnen

Ergebnisdatei:  
(REDUC Methode)

Transient.db, Öffnen

> Add Data (Symbolleiste oben)

> Nodal Solution > DOF Solution

> Y-component of displacement, OK

mittleren Knoten der Unterkante

an der freien Stirnfläche anklicken

(Node number "107"), OK

> Graph Data

u.U. Skizze mittels  
Plot → Replot rekonstruieren

Wiederholen Sie die Analyse des Zeitverhaltens (ab Seite 49 oben) für  $D=0.001$ . Übergeben Sie das entsprechende Diagramm dem Seminarleiter.