

ANSYS 8.1 (Mikrosystementwurf)

7. Beispiel

Zungenförmige Strukturen eignen sich als Resonante Sensoren; bei mehrschichtigem Aufbau (s. Beispiel 8) können sie auch als Aktoren genutzt werden.

In diesem Beispiel wird eine Mikrobiegegezung (cantilever) simuliert, die als Schwingungssensor eingesetzt werden kann.

Es werden sowohl eine statische Analyse (Einzelkraft am freien Ende) als auch dynamische Untersuchungen (Modalanalysen) durchgeführt.

Als Standardelement aus der ANSYS-Bibliothek wählen wir SOLID45.

Materialdaten (Si): $E=1.689 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ $\nu=0.064$ $\rho=2.329 \cdot 10^{-9} \text{ t/mm}^3$
Geometriedaten: $L \times W \times T = 5 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm} \times 0.125 \text{ mm}$

Programmablauf nach dem Start von ANSYS

ANSYS Utility Menu

> *File*
> Change Jobname... "Biegesensor", OK Dateibezeichnung
> *File*
> Change Title... "Mikrobiegegezung", OK Plot-Titel

Menüleiste

> WorkPlane > WP Settings Zeichenebene
> Grid and Triad, Hilfsgitter und Koordinatenachsen
Enable Snap, Snap Incr "0.125", Abstand von Haftpunkten: 0.125 mm
Spacing "0.125", Gitterkonstante: 0.125 mm
Minimum "0", Maximum "5", OK Abmessungen: 5 mm × 5 mm,
> WorkPlane
> Display Working Plane Anzeige Hilfsgitter
> PlotCtrls
> Pan, Zoom, Rotate
Verkleinern des Gitters, Verschieben in Werkzeugleiste rechts
den rechten, oberen Quadranten der Anzeige
> Close

Mittels der Werkzeugleiste rechts können verschiedene Perspektiven in der Darstellung des 3D-Modells gewählt werden > Oblique View

ANSYS Main Menu

> Preprocessor > Element Type
> Add/Edit/Delete
> Add > Solid > Brick 8node 45, OK Volumenelement

- > Close
- > Material Props > Material Models
- > Structural
- > Linear > Elastic > Isotropic
- > EX "1.689e5", PRXY "0.064", OK
- > Density "2.329e-9", OK
- > Material > Exit

Material: linear-elastisch, isotrop
 E-Modul [N/mm²], Querdehnzahl
 Dichte [t/mm³] !!!

ANSYS Toolbar

- > SAVE_DB

ANSYS Main Menu

- > Preprocessor > Modeling
- > Create > Volumes > Block
- > By 2 Corners&Z

Modellierung am Gitter
 direkt auf der Zeichenebene:

- Ursprung (0,0) anklicken
- Ecke (0.5, 0.125) anklicken
- (4 Gitterlinien nach rechts, eine nach oben)

Festlegung des Blockquerschnitts

- Aufziehen des Blocks bis Z = 5, OK
- (perspektivische Bewegung der Maus,
- Abschließen mit Mausklick)

räumliches Modell

Falls eine fehlerhafte Geometrie erzeugt wurde, kann das entsprechende Volumen wieder gelöscht werden.

- > Preprocessor > Delete
- > Volumes only, anklicken des Volumens, OK

- > Preprocessor > Meshing
- > Size Cntrls > Manual Size > Global
- > Size, SIZE "0.125", OK
- > Preprocessor > Meshing
- > Mesh > Volumes > Mapped
- > 4 to 6 sided, Pick All

Vernetzung:
 globale Kantenlänge
 eines Elements: 0.125 [mm]

Vernetzung des gesamten
 Volumens durch Hexaeder

ANSYS Toolbar

- > SAVE_DB

ANSYS Utility Menu

- > Select > Everything
- > Select > Entities
- > Nodes > By Location
- Z-coordinates, Min,Max "5", OK

Selektion aller Knoten
 (Stirnfläche bei Z=5)

ANSYS Main Menu

- > Preprocessor > Loads
- > Define Loads > Apply > Structural
- > Displacement > On Nodes, Pick All,

Setzen der Einspannung
 bei selektierten Knoten

DOFs to be constrained "All DOF", OK

(alle Freiheitsgrade sperren)

ANSYS Toolbar

SAVE_DB

Speicherung des Modells, mit RESUME_DB kann jederzeit auf das Geometriemodell zurückgegriffen werden

Verformungen und innere Reaktionen infolge einer am freien Ende der Zunge angebrachten Einzellast

ANSYS Utility Menu

> Select > Everything

einschränkende Auswahl aufheben

> Select > Entities > Nodes

> By Location,

X-coordinates "0.25", From Full, Apply

Y-coordinates "0.125", Reselect, Apply

Z-coordinates "0", Reselect, OK

Knoten zur Koordinate

(0.25, 0.125, 0) auswählen

> Loads > Define Loads > Apply > Structural

> Force/Moment

> On Nodes + (⇒ Apply F/M on Nodes), Pick All

Lastangriffspunkt

(zuvor ausgewählter Knoten)

> Apply, Direction of force/mom "FY",

Force/moment value "-1.0e-3", OK

Last (Richtungssinn beachten)

ANSYS Utility Menu

> Select > Everything

Aufhebung der Selektion eines

einzelnen Knotens

> WorkPlane > Display Working Plane

ANSYS Main Menu

> Solution > Solve

> Current LS

(⇒ /STAT Command) > File, Close

(⇒ Solve Current Load Step), OK

Solution is done !

> Close

ANSYS Main Menu

> General Postproc > Read Results

> First Set

> Plot Results

> Deformed Shape, Items to be plotted "Def+undef edge", OK

> Element Table

> Define Table

> Add

(⇒ Define Additional Element Table Items),

User label for item "UY",
 Item, Comp Results data item "DOF solution" + "Translation UY",
 Apply
 (⇒ Define Additional Element Table Items),
 User label for item "SZ",
 Item, Comp Results data item "Stress" and "Z-direction SZ",
 OK
 > Close
 > Plot Results
 > Contour Plot
 > Elem Table (⇒ Contour Plot of Element Table Data), OK
 Werte der Verschiebungen UY werden mittels Farbkodierung angezeigt

Alternative Ergebnisanzeigen:

> List Results > Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of displacement, OK
 > File, Close

>List Results > Element Solution, > Stress > Z-Component of stress, OK
 > File, Close

> Element Table > List Elem Table (⇒ List Element Table Data), > UY + SZ, OK
 (⇒ PRETAB Command) > File, Close

> General Postproc
 > List Results
 > Reactio Solu. (⇒ List Reaction Solution), OK
 > File, Close

Modalanalyse (REDUC)

Ermittlung von Eigenfrequenzen und Darstellung von Eigenschwingformen

ANSYS Toolbar

> RESUME_DB

ANSYS MAIN MENU

> Solution >Analysis Type
 > New Analysis, Type of analysis "Modal", OK
 > Analysis Options,
 Mode extraction method "Reduced",
 No. of modes to expand "6", OK
 (⇒ Reduced Modal Analysis)
 Frequency range "0, 300000",
 Normalize mode shapes "To unity", OK
 > Master DOFs
 > Programm Selected,
 Total no. of master DOF "18",

nicht: No. of modes to extract

Frequenzbereich
 Normierung der
 Eigenschwingformen

Exclude rotational DOF "YES", OK
> Solve > Current LS (⇒ Solve Current Load Step), OK,
(⇒ STATUS Command) > File, Close

Solution is done !

> Close

ANSYS Main Menu

> General Postproc > Read Results
> By pick
(Auswahl der gewünschten Eigenschwingung), Read, Close
> Plot Results
> Deformed Shape...(⇒ Plot Deformed Shape),
Items to be plotted "Def+undeformed", OK
(Damit alle Eigenschwingformen eindeutig zu erkennen sind , ist unter Umständen ein Wechsel der Perspektive über die Menüleiste rechts empfehlenswert.)

Wiederholung der Ergebnisanzeige für die anderen Eigenschwingformen. Notieren Sie sich die Eigenfrequenzen sowie Typ und Ordnung der zugehörigen Eigenschwingformen.

> General Postproc
> List Results
> Detailed Summary (⇒ SET, LIST Command), File, Close

Modalanalyse (LANB)

Ermittlung von Eigenfrequenzen und Darstellung von Schwingungsmoden

Anmerkung:

In dieser Variante wird die Block-Lanczos-Methode als Lösungsalgorithmus gewählt.

ANSYS Toolbar

> RESUME_DB

ANSYS Main Menu

> Solution > Analysis Type
> New Analysis, Type of analysis "Modal", OK
> Analysis Options, Mode extraction method "Block Lanczos",
No. of mode to extract "6", No. of modes to expand "6", OK
(⇒ Reduced Modal Analysis)
Frequency range "0, 300000",
Normalize mode shapes "To unity", OK
> Solve > Current LS (⇒ Solve Current Load Step), OK,
(⇒ STATUS Command) > File, Close

Solution is done!

> Close

> General Postproc
> List Results
> Detailed Summary (⇒ SET, LIST Command), File, Close

Vergleichen Sie die numerischen Resultate mit analytischen Ergebnissen zur Theorie von Biege- bzw. Torsionseigenschwingungen; übergeben Sie alle Werte an den Seminarleiter:

a) Biegeschwingungen

Resultate: Set

Eigenfrequenzen (Biegung um x): $f_j^{(a)} = \kappa_j^2 \frac{T}{4\pi} \sqrt{\frac{E}{3\rho}}$ (1, 3, 4)

Eigenfrequenzen (Biegung um y): $f_j^{(a)} = \kappa_j^2 \frac{W}{4\pi} \sqrt{\frac{E}{3\rho}}$ (2, 6)

charakteristische Gleichung: $1 + \cosh \kappa L \cos \kappa L = 0$

$$\kappa_1 = 1.875104/L$$

Eigenwerte: $\kappa_2 = 4.604091/L$

$$\kappa_3 = 7.854758/L$$

b) Torsionsschwingungen

Eigenfrequenzen: $f_j^{(b)} \approx \frac{(2j-1)WT}{2L(W^2 + T^2)} \sqrt{\frac{3E}{7(1+\nu)\rho}}$ (5)

Der Vergleich zwischen numerischen und analytischen Lösungen zeigt, dass exaktere Resultate zu den Oberschwingungen unter Umständen eine feinere Vernetzung erfordern.

Modalanalyse (SUBSP)

Ermittlung von Eigenfrequenzen einer vorgespannten Struktur

Anmerkung:

Die folgende Variante unterscheidet sich von den bisherigen Modalanalysen durch eine axiale Belastung in Richtung Zungenlängsachse. Infolge einer Rotation des Systems um die globale X-Achse mit einer konstanten Winkelgeschwindigkeit von 1000 rad/s wirken Fliehkräfte. Diese verändern die Steifigkeit der Zunge und erhöhen damit die Eigenfrequenzen der Anordnung. Um die Fliehkräfte in der Modalanalyse (prestress) berücksichtigen zu können, macht sich zunächst eine statische Analyse erforderlich. Die Rotation um die X-Achse erfordert außerdem einen Wechsel der Einspannung.

ANSYS Toolbar

> RESUME_DB

Wechsel der Einspannung:

ANSYS Utility Menu

> Select > Everything

> Select > Entities

> Nodes > By Location

Z-coordinates, Min,Max "5", OK

Selektion aller Knoten
(bei Z=5)

ANSYS Main Menu

- > Preprocessor > Loads
- > Define Loads
- > Delete > All Load Data
- > All Constraint > On All Nodes, OK

Löschen der Einspannung
(bei Z=5)

ANSYS Utility Menu

- > Select > Everything
- > Select > Entities.
- > Nodes > By Location,
Z coordinates, Min,Max "0", OK

Selektion aller Knoten
(bei Z=0)

ANSYS Main Menu

- > Define Loads > Apply > Structural
- > Displacement > On Nodes, Pick All,
DOFs to be constrained "All DOF", OK

Setzen der Einspannung
(bei Z=0)

ANSYS Utility Menu

- > Select Everything

ANSYS Main Menu

- > Preprocessor > Loads
- > Apply > Structural inertia

Trägheitskräfte im rotierenden
System

- > Angular Velocity, Global,
Global Cartesian X-comp "1000",
Global Cartesian Y-comp "0",
Global Cartesian Z-comp "0", OK

Winkelgeschwindigkeit [rad/s]

Vektorkoordinaten

- > Solution > Loads
- > Analysis Type
- > New Analysis, Type of analysis "Static", OK
- > Unabridged Menu
- > Analysis Type > Analysis Options
(⇒ Static or Steady-State Analysis),
Stress stiffness or prestress "Prestress ON", OK

Statische Analyse:

Klicken: Abridged → Unabridged

Vorspannung

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

statische. Berechnung (Fliehkräfte)

- > Solution > Analysis Type
- > New Analysis, Type of analysis "Modal", OK
- > Analysis Options
Mode extraction method "Subspace",
No. of mode to extract "12"
No. of modes to expand "6",
Incl prestress effects? "YES", OK
(Haken in Auswahlbox setzen)

Modalanalyse:

Berücksichtigung der Fliehkräfte

(⇒ Subspace Modal Analysis)
Start Freq "0", End Frequency "400000",
Normalize mode shapes "To unity", OK

Frequenzbereich
Normierung der
Eigenschwingformen

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

Solution is done!
> Close

> General Postproc
> Detailed Summary

Liste der Eigenfrequenzen

Ergänzen Sie die Liste der Eigenfrequenzen um die Werte der aktuellen Modalanalyse.

ANSYS Toolbar

> Exit (⇒ Exit from ANSYS, "Save Everything"), OK