

## ANSYS 8.1 (Mikrosystementwurf)

### 11. Beispiel

Im vorliegenden Beispiel wird zum einen die Deformation eines quadratischen Drucksensorelements unter diskreter, statischer Belastung untersucht, zum anderen werden Amplituden- und Phasenfrequenzgang der Anordnung bei harmonischer Erregung analysiert.

Material: Silizium

Geometriedaten:  $L \times W \times T = 9.2 \text{ mm} \times 9.2 \text{ mm} \times 0.05 \text{ mm}$

### Programmablauf nach dem Start von ANSYS

#### ANSYS Utility Menu

- > *File*
- > Change Jobname "Drucksensor", OK
- > *File*
- > Change Title "Harmonische Erregung", OK

#### ANSYS Main Menu

- > Preprocessor
- > Element Type
- > Add/Edit/Delete
- > Add > Shell > Elastic 4node 63, OK
- > Close
- > Preprocessor
- > Real Constants
- > Add/Edit/Delete > Add, OK
- Shell thickness at node I "0.05", OK
- > Close
- > Material Props
- > Material Model
- > Structural > Linear > Elastic
- > Isotropic, EX "1.689e5", PRXY "0.064", OK
- > Density "2.329e-9", OK
- > Material > Exit

#### ANSYS Toolbar

- > SAVE\_DB
  
- > Preprocessor > Modelling
- > Create > Areas > Rectangle

- > By 2 Corners
    - WP X = "0"
    - WP Y = "0"
    - Width = "9.2"
    - Height = "9.2" , OK
  - > Preprocessor > Meshing
  - > Size Cntrls > Manual Size > Global
  - > Size, Number of element divisions "20", OK
- Unterteilung der quadratischen Grundfläche
- > Mesh > Areas
  - > Mapped > 3 or 4 sided , Pick All
- Vernetzung mit Vierecken

## ANSYS Toolbar

- > SAVE\_DB

## ANSYS Utility Menu

- > Select
  - > Entities > Nodes > By Location
  - "X coordinates" + Min, Max "0" + "From Full", Apply
  - "X coordinates" + Min, Max "9.2" + "Also Select", Apply
  - "Y coordinates" + Min, Max "0" + "Also Select", Apply
  - "Y coordinates" + Min, Max "9.2" + "Also Select", OK
- Selektion aller Knoten auf den Rändern

## ANSYS Main Menu

- > Preprocessor > Loads > Define Loads
  - > Apply > Structural > Displacement
  - > On Nodes, Pick All
  - DOFs to be constrained "ALL DOF", OK
- feste Einspannung an den Rändern

## ANSYS Utility Menu

- > Select > Everything
- Rücksetzung der selektierten Komponenten auf die gesamte Anordnung

## ANSYS Utility Menu

- > *File* > Save as "Drucksensor", OK

## Verformung des Sensorelementes bei Einwirkung einer diskreten, mittigen Kraft

- > Solution > Define Loads
  - > Apply > Structural
  - > Force/Moment > On Nodes
  - Mittelknoten (Node No. = 261) auswählen, Apply
  - Direction of force/mom "FZ",
  - Force/moment value "1e-6", OK
  - > Solution > Analysis Type
  - > New Analysis "Static", OK
- Kraftangriffspunkt  
Wirkungslinie der Kraft  
Kraft [N]
- > 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

Menüleiste rechts: Perspektive "Isometric view" wählen

> Plot Results

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

Menüleiste rechts: Perspektive "Front view" wählen

> General Postproc

> Path Operations

> Define Path, > By Nodes

Randknoten der horizontalen Mittellinie anklicken

(Node No.71 und 32), Apply

Schnitt entlang der Mittelachse

Define Path Name "Schnitt", OK

> File > Close

> Map onto Path

User label for item "UZ",

Item to be mapped "DOF Solution" + "Translation UZ", Apply

User label for item "SX",

Item to be mapped "Stress" + "X-dirextion SX", OK

> Plot Path Items

Mittelachse

> On Graph Path items to be graphed "UZ", OK

Diagramm: Durchbiegung

> On Graph Path items to be graphed "SX", OK

Diagramm: Normalspannung

> General Postproc

> Plot Results > Contour Plot

> Nodal Solu

Item to be contoured "DOF Solution" + "Z-component of displacement", OK

## **Modalanalyse - Ermittlung von Eigenfrequenzen sowie Darstellung von Schwingungsmoden**

### **ANSYS Utility Menu**

> *File* > Resume from "Drucksensor", OK

### **ANSYS Main Menu**

> Solution > Analysis Type

> New Analysis

Type of analysis "Modal", OK

> Analysis Options

Mode extraction method "Reduced",

Expand mode shapes "Yes",

Number of modes to expand "6", OK

Frequency range "8000, 35000",  
Normalize mode shapes "To unity", OK  
> Master DOFs  
> Programm Selected  
Total no. of master DOF "100",  
Exclude rotational DOF "Yes", OK  
> User Selected > Define  
Mittelknoten (Node No.261) anklicken , OK  
1st degree of freedom "All DOF", OK

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

***Solution is done !***

> Close

### **ANSYS Utility Menu**

> Plot > Multi-Plots

Rekonstruktion der Grafik  
inklusive Master DOFs

### **ANSYS Main Menu**

> General Postproc > Read Results  
> First Set  
> List Results  
> Detailed Summary

### **Eigenfrequenzen [Hz]:**

Vergleichen Sie Ihre Resultate mit denen  
Ihrer Kommilitonen

> Close

### **Eigenschwingformen**

> Read Results > First Set  
> Plot Results > Contour Plot  
> Nodal Solu

Item to be contoured "DOF Solution" + "Z-component of displacement", OK

> Read Results > Next Set  
> Plot Results > Contour Plot  
> Nodal Solu

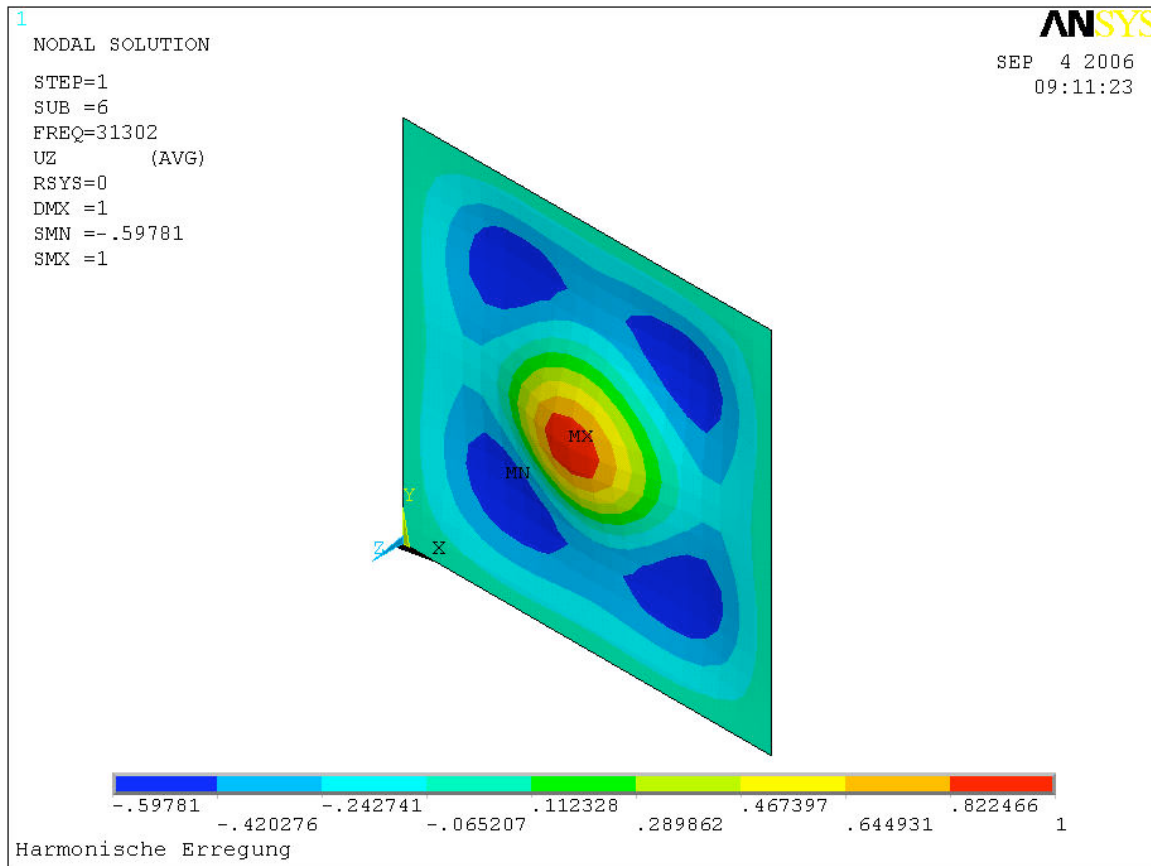
Item to be contoured "DOF Solution" + "Z-component of displacement", OK

- 
- 

> Read Results > Last Set  
> Plot Results > Contour Plot  
> Nodal Solu

Item to be contoured "DOF Solution" + "Z-component of displacement", OK

Menüleiste rechts: Perspektive "Isometric view" wählen



Vergleichen Sie die aktuellen Ergebnisse mit den Resultaten von Beispiel 5.

## ANSYS Toolbar

> SAVE\_DB

Was ist eine Frequenzganganalyse?

In der Technik treten häufig periodisch wechselnde Lasten auf, die man nach der Theorie der Fourierreihen als additive Überlagerung einzelner Sinus- und Cosinus-Funktionen darstellen kann (Harmonische Schwingungen). Aus der technischen Schwingungslehre ist bekannt, dass sich für lineare Strukturen bei genügend lang andauernden harmonischen Erregungen ein stationärer Zustand einstellt; das angeregte System schwingt mit der gleichen Frequenz wie die harmonischen Fremdanregung. Die Frequenzganganalyse (Harmonic Response Analysis) dient der Ermittlung des eingeschwungenen Zustandes, der stationären Lösung der Bewegungsgleichung bei Einwirkung zeitvariabler Lasten mit konstanter Amplitude und Frequenz. Sie untersucht also das Antwortverhalten der Struktur auf eine harmonische Belastung.

Bei der Frequenzganganalyse handelt es sich um eine lineare Analyse, die auch auf vorgespannte Strukturen mit Erfolg angewandt werden kann.

ANSYS stellt drei Methoden der Frequenzganganalyse zur Verfügung:

- (1) Verfahren mit vollständigen Matrizen (FULL, full method)
- (2) Verfahren mit reduzierten Matrizen (REDUC, reduced method)
- (3) Verfahren der modalen Superposition (MSUP, modal superposition)

Die Methode **FULL** ist in der Handhabung die einfachste, da keine Hauptfreiheitsgrade eingeschränkt und keine Eigenschwingformen einbezogen werden müssen. Die Methode ist ge-

nauer als das Verfahren **REDUC**, welches nur einen Teil der Hauptfreiheitsgrade berücksichtigt und deshalb mit reduzierten Matrizen arbeitet; sie ist aber mit erhöhtem Rechenaufwand verbunden. Alle Arten mechanischer und thermischer Belastungen bzw. Verformungen können vorgegeben werden; diskrete Dämpfer sind möglich.

Bei dem Lösungsalgorithmus **MSUP** werden faktorisierte Eigenschwingformen einer Modalanalyse aufsummiert, um die Antwort der Struktur zu berechnen. Er ist für viele Anwendungen effizienter als die beiden anderen Methoden. Es können aber keine von Null abweichende Verschiebungen oder diskrete Dämpferelemente berücksichtigt werden. Effekte aus Vorspannungen sind simulierbar.

## **Das stationäre Verhalten des Drucksensors bei harmonischer Erregung (Verfahren mit vollständigen Matrizen)**

### **ANSYS Utility Menu**

> *File* > Resume from "Drucksensor", OK

### **ANSYS Main Menu**

> Solution > Analysis Type

> New Analysis

Type of analysis "Harmonic", OK

> Analysis Options

Solution method " Full",

DOF printout format "Amplitud + phase", OK, OK

> Solution > Define Loads

> Apply > Structural

> Force/Moment

> On Nodes

Mittelknoten (Node No.261) anklicken, Apply

harmonische Belastung  
am Mittelknoten

Direction of force/mom "FZ", Real part of force/mom "1e-6", OK

> Solution > Load Step Opts

> Output Ctrls

> DB/Results File

File write frequency "Every substep", OK

> Time/Frequenc

> Freq and Substps

Harmonic frequency range "8000, 9000",

Number of substeps "40",

Stepped or ramped b.c. "Stepped", OK

> Damping

Constant damping ratio "0.01", OK

> Solution > Solve

> Current LS

(⇒ /STAT Command) > File, Close

(⇒ Solve Current Load Step), OK

***Solution is done !***

> Close

> *File* > Save as "DSharmonicF.db", OK

Ergebnissicherung

## **ANSYS Main Menu**

> TimeHist Postpro

Rechnerfenster schließen

> Settings

> File > Browse

File containing data "Drucksensor.rst", OK

> Define Variables

> Add

Type of Variable "Nodal DOF result", OK

Mittelknoten (Node No.261) anklicken, Apply

Ref number of variable "2", Node number "261",

User specified label "ampl",

Data item "DOF Solution" + "Translation UZ", OK

> Add

Type of Variable "Nodal DOF result", OK

Mittelknoten (Node No.261) anklicken, Apply

Ref number of variable "3", Node number "261",

User specified label "phas",

Data item "DOF Solution" + "Translation UZ", OK

> Close

> Settings

> Graph

Time (or frequency) range for graph

Minimum time "8000", Maximum time "9000",

Variable number "2",

Name "ampl", Complex variable "Amplitude", OK

> Graph Variables

2nd variable "2", OK

Amplituden-Frequenzgang

> Settings

> Graph

Variable number "3",

Name "phas", Complex variable "Phase angle", OK

> Graph Variables

3rd variable "3", OK

Phasen-Frequenzgang

> List Variables

2nd variable "2", 3rd variable "3", OK

Tabelle der Werte

## **Das stationäre Verhalten des Drucksensors bei harmonischer Erregung (Verfahren der modalen Superposition)**

### **ANSYS Utility Menu**

- > *File*
- > Resume from "Drucksensor", OK

### **ANSYS Main Menu**

- > Solution > Analysis Type
- > New Analysis
- Type of analysis "Harmonic", OK
- > Analysis Options
- Solution method "Mode Superpos'n",
- DOF printout format "Amplitud + phase", OK
- Maximum mode number "6", Spacing of solutions "uniform", OK
- > Solution > Define Loads
- > Apply
- > Force/Moment
- > On Nodes
- Mittelknoten (Node No.261) anklicken, Apply
- Direction of force/mom "FZ",
- Real part of force/mom "1e-6", OK
- > Solution > Load Step Opts
- > Output Ctrls
- > DB/Results File
- File write frequency "Every substep", OK
- > Time/Frequence
- > Freq and Substps
- Harmonic frequency range "8000, 9000",
- Number of substeps "40",
- Stepped or ramped b.c. "Stepped", OK
- > Damping
- Constant damping ratio "1e-3", OK
  
- > Solution > Solve
- > Current LS
- (⇒ /STAT Command) > File, Close
- (⇒ Solve Current Load Step), OK

### ***Solution is done !***

- > Close



## ANSYS Main Menu

> TimeHist Postpro

Rechnerfenster schließen

> Settings > File > Browse

zum Projekt gehörige Ergebnisdatei

mit dem Suffix *rfrq* auswählen (s. Jobname)

File containing data "Drucksensor.rfrq", OK

> Define Variables

> Add

Type of Variable "Nodal DOF result", OK

Mittelknoten (Node No.261) anklicken, Apply

Ref number of variable "2", Node number "261",

User specified label "ampl",

Data item "DOF Solution" + "Translation UZ", OK

> Close

> Settings

> Graph

Time (or frequency) range for graph

Minimum time "8000", Maximum time "9000",

Variable number "2",

Name "ampl", Complex variable "Amplitude", OK

> Graph Variables

2nd variable "2", OK

Ergebnisdatei:

(modale Superposition)

Knotenpunktverschiebungen

Amplituden-Frequenzgang