

ANSYS 8.1 (Mikrosystementwurf)

4. Beispiel:

Im Folgenden ist das Schwingungsverhalten des Modells aus dem 3. Beispiel zu analysieren.

Mikrobiegezone der Beispiele 1-3.

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

In der Mikrosensorik sind detaillierte Analysen von Schwingungen häufig erforderlich, um physikalische Größen zu detektieren. Es ist daher notwendig, das Schwingungsverhalten mikromechanischer Strukturen (Zungen, Brücken, Membranen u.ä.) vorauszusagen. Mit Hilfe der *Modalanalyse* kann dieses Verhalten untersucht werden. Mit ihr werden *Eigenfrequenzen* und *Eigenschwingungsformen (Moden)* einer Struktur ermittelt. Sie ermöglicht außerdem Aussagen zum Amplituden- und Phasen-Frequenzgang sowie zur Analyse transienter Schwingungen. Es können keine Angaben zu Amplitudenwerten, Spannungen oder zur Betriebsfestigkeit abgeleitet werden.

Die Modalanalyse mittels ANSYS ist eine lineare Analyse; Nichtlinearitäten bleiben unberücksichtigt. Mehrere Berechnungsverfahren stehen zur Verfügung:

Householder-Methode (reduced), Unterraummethode (subspace), Verfahren für gedämpfte Systeme (damped) und Block-Lanczos-Methode.

Modalanalysen können auch an vorgespannten Strukturen (nachfolgend) durchgeführt werden.

Die Vorgehensweise ist:

1. Erstellung des Modells (preprocessing)
2. Lösung (solution)
3. Auswertung der Ergebnisse (postprocessing)

Da dynamische Aufgaben sehr rechenintensiv sein können, stellt das Programm spezielle Algorithmen bereit, die mit einer reduzierten Anzahl von Freiheitsgraden auskommen. Zur Lösung des aktuellen Beispiels wird die reduzierte Methode ausgewählt (REDUC, reduced, **Householder-Verfahren**). Dieses Verfahren gilt bei kleinen und mittleren FEM-Simulationen als effizient.

Die später noch anzuwendende **Block-Lanczos-Methode** ist schneller und effektiver für große FEM-Modelle.

Die Qualität der erhaltenen Ergebnisse richtet sich nach der Auswahl der sogenannten **Master-Freiheitsgrade** (MDOF – master degree of freedom). Ziel ist es, das Gleichungssystem mit n -Freiheitsgraden auf ein kleineres mit weniger Freiheitsgraden zu überführen, das reduzierte Gleichungssystem zu lösen und die Resultate auf das System mit allen Freiheitsgraden zu extrapolieren. Numerische Erfahrungen zeigen, dass man die Zahl der Freiheitsgrade deutlich reduzieren kann, ohne wesentlich an Genauigkeit einzubüßen. Die Reduktion ist aber nur möglich und die Einsparung an Rechenaufwand sinnvoll, wenn sie für lineare Berechnungen eingesetzt wird (Eigenfrequenzen; lineare transiente Untersuchungen und Frequenzganganalysen).

Für die Auswahl der Hauptfreiheitsgrade gibt es zwei Vorgehensweisen, die auf der Basis

- (1) ingenieurmäßiger Erfahrung und
- (2) numerischer Kriterien beruhen.

So wird ein Teil der Hauptfreiheitsgrade vom Anwender festgelegt

M, Node, Lab1, NEND, NINC *oder*

Main Menu > Solution > Master DOFs > User Selected.

Dabei können Einzelknoten, aber auch Knotengruppen ausgewählt werden. Die jeweils benannten Freiheitsgrade an diesen Knoten werden zu Hauptfreiheitsgraden. Diese Festlegungen lassen sich auflisten,

MLIST, NODE1, NODE2, NINC *oder*

Utility Menu > List > Other > Master DOF

grafisch kontrollieren oder auch wieder löschen. Es ist möglich, sie lokal an Knoten oder Elementen (NPLOT oder EPLOT) zu visualisieren.

Zusätzlich kann die Auswahl von Hauptfreiheitsgraden (basierend auf den Steifigkeits-/Massenverhältnissen) automatisch durch das Programm erfolgen

TOTAL, NTOT, NRMDF *oder*

Main Menu > Solution > Master DOFs > Program Selected.

Als *grobe Orientierung* (!) zur Auswahl von Hauptfreiheitsgraden bei Modalanalysen gilt die Empfehlung, mindestens doppelt bis dreifach so viele anzugeben, wie Eigenschwingformen errechnet werden sollen (s. S. 20).

Neben Elastizitätsmodul E [N/mm²] und Querkontraktionszahl ν (Poissonzahl) ist bei einer Modalanalyse nun auch die Dichte ρ [t/mm³] !!! des Werkstoffs anzugeben.

Programmablauf nach dem Start von ANSYS

/FILENAME,NAME [Exec]	Festlegung eines Dateinamens
/TITLE,TITEL [Exec]	Titel des Projekts
/PREP7 [Exec]	Aufruf des Preprocessors. Alle nun folgenden Arbeiten erfolgen im Preprocessor.
MP,EX,1,E [Exec]	Eingabe des E -Moduls [N/mm ²]
MP,NUXY,1,ν [Exec]	Eingabe der Poissonzahl ν
MP,DENS,1,ρ [Exec]	Eingabe der Materialdichte ρ [t/mm ³] !!!

ET,1,45 [Exec]	Element: SOLID45 (räumlich, 8 Knoten)
BLOCK,,L,,T,,W [Exec]	Hexaeder in der aktuellen Arbeitsebene Länge:L [mm], Dicke :T [mm], Breite:W [mm]
Mittels der Werkzeugleiste rechts können verschiedene Perspektiven in der Darstellung des 3D-Modells gewählt werden > Isometric View	
VPLOT [Exec]	Grafik aktualisieren: Volumen anzeigen
/PNUM,LINE,1 [Exec]	Liniennumerierung einschalten. 1:Numerierung ein, 0:Numerierung aus.
LPLOT [Exec]	Grafik aktualisieren: Linien anzeigen
LESIZE,5,,,5 [Exec]	Definiert die lokale Netzdichte entlang einer Linie 5:Liniennummer, 5:Anzahl von Elementen pro Linie.
LESIZE,6,,,2 [Exec]	
LESIZE,10,,,2 [Exec]	
VMESH,ALL [Exec]	Vernetzen mit Volumenelementen. ALL:alle Volumina werden vernetzt.
NSEL,S,LOC,X,0 [Exec]	Auswahl einer Gruppe von Knoten für RB S:Gruppe selektieren; LOC,X,0: Selektion aller Knoten in der (YZ)-Ebene
D,ALL,ALL,0 [Exec]	Randbedingungen für die selektierten Knoten (Sperrung aller Verschiebungen)
NSEL,ALL [Exec]	Auswahl eine Teilmenge von Knoten. ALL:Gesamtmenge aktivieren.
SAVE [Exec]	Sichern aller Modelldaten für eine eventuelle Rekonstruktion
FINI [Exec]	Ende der Arbeiten im Preprocessor.
/SOLU [Exec]	Aufruf des Lösungsprocessors.
ANTYPE,MODAL [Exec]	Wahl der Berechnungsart. MODAL:Modalanalyse.
MODOPT,REDU [Exec]	Auswahl der Berechnungsmethode: Householder-Methode (Verfahren mit reduzierten Matrizen)
MXPAND,6 [Exec]	die ersten 6 Eigenschwingformen

TOTL=18 [Exec]	Anzahl der dynamischen Freiheitsgrade
TOTAL,TOTL,1 [Exec]	Einschränkung der dynamischen Freiheitsgrade. 1:keine Rotationsfreiheitsgrade
ALLSEL [Exec]	gesamte Datenbasis wird selektiert
SOLVE [Exec]	Berechnung durchführen.
SAVE [Exec]	Sicherung aller Modelldaten für ev. Rekonstruktion
FINI [Exec]	Ende der Arbeiten im Lösungsprocessor.
/POST1 [Exec]	Aufruf des Postprocessors.
SET,LIST [Exec]	Auflistung der Eigenfrequenzen.
/TRIAD,OFF [Exec]	Ausschalten des Koordinatensystems.
/PBC,ALL,0 [Exec]	Ausschalten aller Randbedingungen.
SET,1,n	Einlesen der n-ten Eigenform (n:1, 2, 3, 3, 4, 5, 6)
PLDI,1 [Exec]	Grafische Darstellung der Gesamtverformung. 1:verformte und unverformte, 0:nur die verformte, 2:verformte und Umriss der unverformten Struktur
FINI [Exec]	Ende der Arbeiten im Postprocessor.
/EXIT [Exec]	ANSYS-Sitzung beenden.

Wiederholen Sie die Simulation mit einer feineren Vernetzung (Aufteilung der Linien 16,4,2); vergleichen Sie die Unterschiede in den berechneten Eigenfrequenzen.