

## Programm: ML\_29\_3\_Einfreiheitsgradschwinger\_mit\_nichtlinearer\_Kennlinie\_2

Version: 1.0 April 2018

### Beschreibung:

Das Programm berechnet die Schwingungsantwort eines viskos gedämpften Einfreiheitsgradschwingers mit nichtlinearer Federkennlinie bei vorgegebener Anfangsauslenkung und –geschwindigkeit sowie einer beliebigen Erregerkraft. Die Integration der Bewegungsgleichung, die die Bewegung des Einfreiheitsgradschwingers kennzeichnet (Gl. 93, Abschn. 29), erfolgt numerisch mittels des Newmark-Verfahrens. Die im Programm umgesetzte iterative Formulierung (inkrementelle Fassung) des Newmark-Verfahrens ist dem Abschn. 29.7 zu entnehmen. Die der Berechnung zugrunde gelegte, von der Auslenkung  $y$  abhängige Rückstellfunktion  $r(y)$  enthält neben einem linearen auch einen quadratischen, einen kubischen und einen biquadratischen Term:

$$r(y) = k_1 \cdot y + k_2 \cdot y^2 + k_3 \cdot y^3 + k_4 \cdot y^4 \quad (1)$$

### Eingabe:

- Eingabedateien:
  - *Inputdatei\_1*: Erregerkraftverlauf (Im Programm unter Matrix *Kraftverlauf* eingelesen):
    - Spalte 1: Zeitvektor [s], im Programm unter *t\_kraft* eingelesen.
    - Ab Spalte 2: die Kraftvektor in [N] (im Programm unter Vektor *Kraft* eingelesen).
- Eingaben im Quellcode:
  - Masse des Einfreiheitsgradschwingers:  $m$  [kg];
  - Dämpfungskoeffizient:  $d$  [Ns/m];
  - Lineare Federzahl:  $k_1$  [N/m];
  - Quadratische Federzahl:  $k_2$  [N/m<sup>2</sup>];
  - Kubische Federzahl:  $k_3$  [N/m<sup>3</sup>];
  - Biquadratische Federzahl:  $k_4$  [N/m<sup>4</sup>];
  - Anfangsauslenkung:  $y_0$  [m];
  - Anfangsgeschwindigkeit:  $v_0$  [m/s];
  - Berechnungszeitschritt:  $dt$  [s];
  - Gesamtzeit der Berechnung:  $t_{ber}$  [s]
  - Relative Genauigkeit, mit der die kinetische Gleichgewichtsgleichung erfüllt werden soll:  $eps$  [-];
  - Integrationsparameter des Newmark-Verfahrens:  $alpha$  und  $beta$ .

### Ausgabe:

- *Outputdatei\_1*: Nach einer Bestätigung der Eingabewerte werden die Extremwerte der Bewegungsgrößen ausgegeben:
  - Maximale Verschiebung:  $y_{max}$  [m];
  - Minimale Verschiebung:  $y_{min}$  [m].
  - Maximale Geschwindigkeit:  $v_{max}$  [m/s];
  - Minimale Geschwindigkeit:  $v_{min}$  [m/s].
  - Maximale Beschleunigung:  $a_{max}$  [m/s<sup>2</sup>];
  - Minimale Beschleunigung:  $a_{min}$  [m/s<sup>2</sup>].

- *Outputdatei\_2*: Verschiebungszeitverlauf
  - Spalte 1: Zeitvektor der Berechnung [s];
  - Spalte 2: Verschiebungsvektor [m].
- *Outputdatei\_3*: Geschwindigkeitszeitverlauf
  - Spalte 1: Zeitvektor der Berechnung [s];
  - Spalte 2: Geschwindigkeitsvektor [m/s].
- *Outputdatei\_4*: Beschleunigungszeitverlauf
  - Spalte 1: Zeitvektor der Berechnung [s];
  - Spalte 2: Beschleunigungsvektor [m/s<sup>2</sup>].

#### **Hinweise:**

- Alle sich bei der Berechnung ergebenden Größen sind dimensionsecht. Bei der Eingabe können daher auch andere konsistente Einheiten gewählt werden wie z.B. [t] für die Masse und [kN] für die Kraft.
- Wenn die Berechnungsdauer *t\_ber* größer als die Dauer der Krafterregung ist, wird der Kraftvektor über die Einwirkungsdauer hinaus mit Nulleinträgen ergänzt, bis *t\_ber* erreicht ist.
- Die Schrittweite *dt* sollte so gewählt werden, dass die Schwingung des Einfreiheitsgradschwingers vollständig abgebildet wird. Ist z.B. *f* die Eigenfrequenz und *T* die zugehörige Eigenperiode ( $T = 1/f$ ), sollte *dt* kleiner als *T*/10 (besser *T*/20) gewählt werden.
- Liegt eine andere Rückstellfunktion vor, ist diese im Programm entsprechend zu vereinbaren.
- Die Integrationsparameter *alpha* und *beta* können im Eingabeblock definiert werden. Empfohlen werden jedoch die Werte 0,5 für *alpha* bzw. 0,25 für *beta* (s. Abschn. 29.5.2).
- Eine Höchstanzahl an Iterationen wurde im Programm nicht eingebaut, weil die Lösung in der Regel nach 3 bis 4 Iterationen ermittelt wird. Sollte dies nicht der Fall sein, ist die Genauigkeitsschranke anzupassen. Eine Bedingung zur maximalen Anzahl an Iterationen kann auch unschwer eingebaut werden.
- Das Programm ist erweiterungsfähig. Nichtlineare Dämpfungsterme können vergleichsweise einfach einbezogen werden.
- Aufgrund des bei der Matlab-Programmierung auf 1 festgelegten Ursprungs von Vektoren und Matrizen (Laufvariablen können innerhalb eines Vektors nicht bei null anfangen), mussten die dem Programm zugrunde liegenden, im Buch angegebenen Gleichungen für die Matlab-Programmierung entsprechend angepasst werden.

**Vordefiniertes Beispiel:** Zahlenbeispiel mit Fremderregung, Abschn. 6.4.