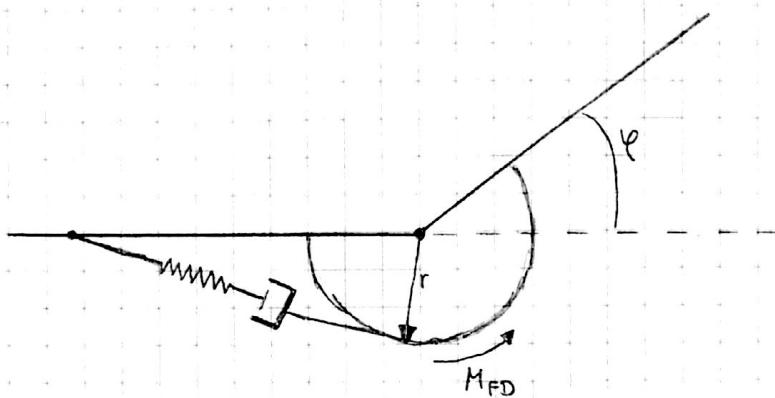


3M-Seminar

Musculoskeletal modelling: Simulation and control of arm movements

(3)

Armbewegung mit Feder-Dämpfer-Element



ausgestreckter Arm:

$$\varphi = 0$$

$$\varphi_{\max} = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$$

$$\text{DGL: } \ddot{\varphi} = \frac{1}{J} \sum M = \frac{1}{J} \cdot M_{FD}$$

$$M_{FD} = -k(\varphi - \varphi_0) - d\dot{\varphi}$$

$$\text{Randbedingungen: } \varphi_0 = 0$$

$$\dot{\varphi}_0 = 0$$

Trägheitsmoment des Unterarms:

$$J = m \cdot r^2 \quad \text{mit } m = 5 \text{ kg} \\ r = 0,15 \text{ m}$$

$$\rightarrow J = 0,1125 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Verändern der Randbedingungen:

- Je größer ϵ , desto größer die Amplitude (keine Auslenkung bei $\epsilon=0$)
→ Es handelt sich immer um gedämpfte Schwingung
- Je größer die Geschwindigkeit ($\dot{\epsilon}$),
desto größer die Amplitude und die Periodendauer

Verändern der Parameter:

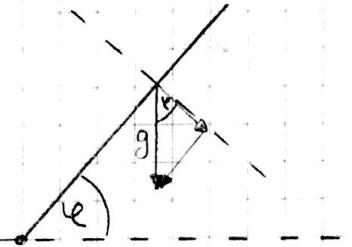
- Je höher die Federkonstante, desto kürzer ist die Periodendauer
- Je höher die Dämpferkonstante, desto schneller gelangt der Arm zurück in die Ruhelage
- Dämpferverhalten überwiegt, wenn Feder- und Dämpferkonstante in gleichem Maß geändert werden

3 M-Seminar

Musculoskeletal modelling: Simulation and control of arm movements

(4)

Armbewegung mit Feder-Dämpfer-Element und Gravitation



$$M_g = F_{g\perp} \cdot r_g$$

$$M_g = F_g \cdot \cos \varphi \cdot r_g$$

$$M_g = m \cdot g \cdot \cos \varphi \cdot r_g$$

$$r_g = 0,15 \text{ m}$$

$\varphi = 90^\circ$ (Arm senkrecht):

$$M_g = 5 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos 90^\circ \cdot 0,15 \text{ m} = 0 \text{ Nm}$$

$\varphi = 0^\circ$ (Arm ausgestreckt):

$$\begin{aligned} M_g &= 5 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos 0^\circ \cdot 0,15 \text{ m} \\ &= 7,3575 \text{ Nm} \\ &\triangleq M_{g,\max} \end{aligned}$$

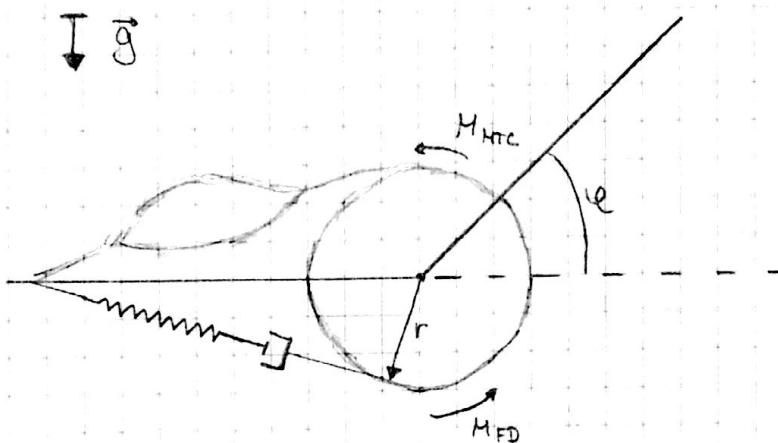
$$\text{DGL: } \ddot{\varphi} = \frac{1}{J} \sum M = \frac{1}{J} (M_{FD} - M_g)$$

3 M- Seminar

Musculoskeletal modelling: Simulation and control of arm movements

(5)

Armbewegung mit Feder-Dämpfer-Element,
Gravitation und einem zusätzlichen Muskel



$$\text{DGL: } \ddot{\varphi} = \frac{1}{J} (M_{FD} - M_g + M_{MTC})$$

$$\begin{aligned} M_{MTC} &= r \times F \\ &= r \cdot F (l_{MTC}, i_{MTC}, q) \end{aligned}$$

$$l_{MTC} = -r \cdot \dot{\varphi} + l_{MTC, \text{init}}$$

$$\dot{l}_{MTC} = -r \cdot \ddot{\varphi}$$

Startlänge des Muskels: $l_{MTC, \text{init}} = 0,2 \text{ m}$

Verändern von q :

- $q=0 \rightarrow$ keine Stimulation, keine Muskelaktivität
- $q=1 \rightarrow$ maximale Armbewegung (max. Winkel), Gegenkraft des Feder-Dämpfer-Elements bewirkt geringe Verkleinerung des Winkels φ bis stabiler Endposition