



Franz Hubert Kainz

franz.kainz@htl-kapfenberg.ac.at

## Anlauf einer Zentrifuge



- Mathematische / Fachliche Inhalte in Stichworten:

**Grundlagen der Mechanik, Integralrechnung**

- Kurzzusammenfassung

**Anlaufvorgänge von Antriebssystemen sind von großer Bedeutung. Hierbei kommt es zu einem Zusammenspiel der Elektrotechnik und dem Maschinenbau. Es werden hierfür Kenntnisse sowohl bezüglich des Verhaltens von Elektromotoren als auch Kenntnisse hinsichtlich der Ermittlung von Lastkennlinien und der Reduktion von Massenträgheitsmomenten benötigt.**

- Lehrplanbezug (bzw. Gegenstand / Abteilung / Jahrgang):

**Mechanik, Fördertechnik, 4. Jahrgang Maschinenbau**

- Mathcad-Version:

**Mathcad 2001**

- Literaturangaben:

**Steger Bd. 2 (1, 3) - Teubner-Verlag**

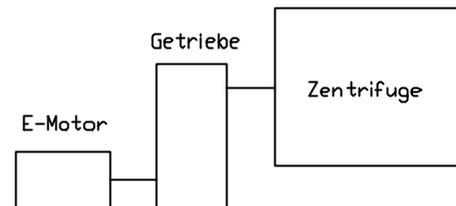
- Anmerkungen bzw. Sonstiges:

**Diese Aufgabe wurde in Mechanik und Fördertechnik behandelt**



Für den vorliegenden Antrieb einer Zentrifuge, von dem die Funktionen des Motor- und des Lastmomentes bekannt sind, sind zu ermitteln :

- die Nenndrehzahl des Motors
- die Nennleistung des Motors
- das Anlaufmoment des Motors
- das Anlaufmoment der Last
- die Motor- und Lastkennlinie
- das Kippmoment des Motors
- die Betriebsdrehzahl
- das Betriebsmoment
- das Massenträgheitsmoment
- die Hochlaufzeit des Antriebs
- die erforderliche Motorleistung
- die Belastung des Motors (Überlastung)



Farbencode :

Eingabe - Zahlenwerte

Definitionen

Formeln

E

$Nm := \text{newton} \cdot m$

$n_s := 750 \cdot \text{min}^{-1}$

Synchrondrehzahl

$T_N := 100 \cdot Nm$

Nenndrehmoment des Motors

$J_{Mot} := 0.166 \cdot \text{kg} \cdot m^2$

Massenträgheitsmoment des Antriebsmotors

$J_{Getr} := 0.013 \cdot \text{kg} \cdot m^2$

Massenträgheitsmoment des Getriebes auf die Motorwelle bezogen

$i_{ges} := 7.5$

Übersetzungsverhältnis des Getriebes

$J_{Tro} := 36.3 \cdot \text{kg} \cdot m^2$

Massenträgheitsmoment der Zentrifuge

$T_M(\text{sch}) = T_N \cdot \frac{1.55 \cdot \text{sch}}{0.027 + 1.35 \cdot \text{sch}^2}$

Funktion des Motormomentes in Abhängigkeit vom Schlupf

$T_L(\text{sch}) = \frac{T_N}{5} + T_N \cdot (1.0 - \text{sch})^2$

Funktion des Lastmomentes in Abhängigkeit vom Schlupf

$\text{sch} = \frac{n_s - n}{n_s}$

Definition des Schlupfes

$$T_N = T_N \cdot \frac{1.55 \cdot \text{sch}}{0.027 + 1.35 \cdot \text{sch}^2}$$

Ermittlung der Nenndrehzahl

$$\left( \begin{array}{l} 1.7691972884607801207 \cdot 10^{-2} \\ 1.1304561752635403469 \end{array} \right)$$

Auflösen der Gleichung nach "sch"  
=> nur die 1. Lösung ist brauchbar

$$\text{sch}_N := 1.769 \cdot 10^{-2}$$

Nennschlupf

$$n_N := n_s - n_s \cdot \text{sch}_N$$

Nenndrehzahl

$$n_N = 736.732 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{sch} := 0, 0.001.. 1$$

Laufvariable für den Schlupf

$$T_M(\text{sch}) := T_N \cdot \frac{1.55 \cdot \text{sch}}{0.027 + 1.35 \cdot \text{sch}^2}$$

$$T_L(\text{sch}) := \frac{T_N}{5} + T_N \cdot (1.0 - \text{sch})^2$$

$$T_M(1) = 112.564 \text{ newton} \cdot \text{m}$$

Anlaufmoment des Motors

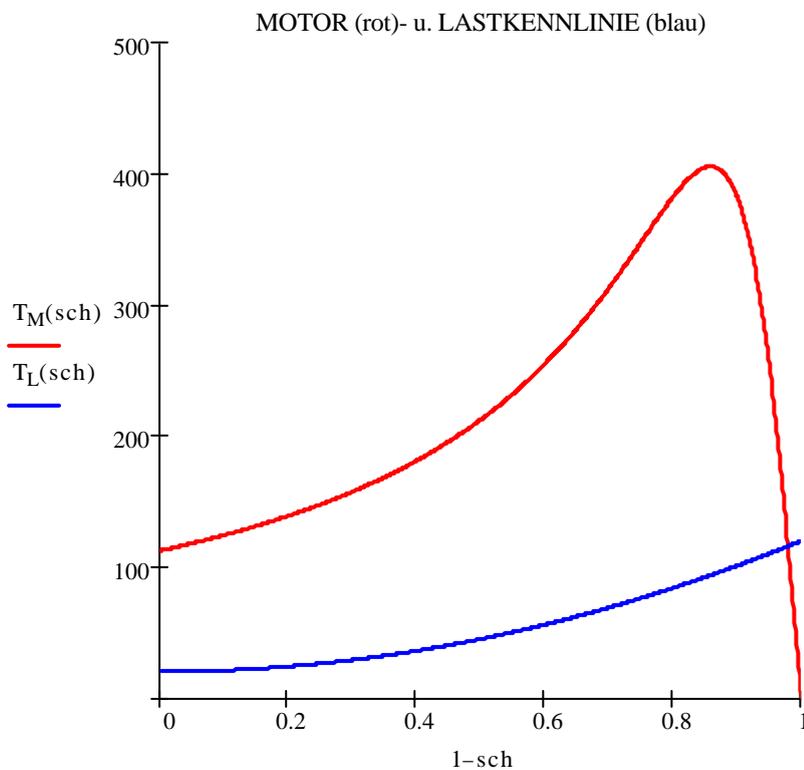
$$T_L(1) = 20 \text{ newton} \cdot \text{m}$$

Anlaufmoment der Last

$$P_N := 2 \cdot T_M(\text{sch}_N) \cdot \pi \cdot n_N$$

Nennleistung des Motors

$$P_N = 7.714 \text{ kW}$$



$$\text{sch}_{\text{start}} := 0.2$$

Ermittlung des Kippmomentes

$$\text{null}(\text{sch}) := \text{root}\left(\frac{d}{d\text{sch}}T_M(\text{sch}), \text{sch}\right)$$

$$\text{sch}_{\text{max}} := \text{null}(\text{sch}_{\text{start}})$$

$$\text{sch}_{\text{max}} = 0.141$$

$$T_M(\text{sch}_{\text{max}}) = 405.932 \text{ newton} \cdot \text{m}$$

Kippmoment des Motors

$$n_k := n_s - n_s \cdot \text{sch}_{\text{max}}$$

$$n_k = 643.934 \text{ min}^{-1}$$

Drehzahl bei der das Kippmoment des Motors auftritt

$$T_N \cdot \frac{1.55 \cdot \text{sch}}{0.027 + 1.35 \cdot \text{sch}^2} = \frac{T_N}{5} + T_N \cdot (1.0 - \text{sch})^2$$

Ermittlung des Betriebspunktes  
(Gleichsetzen von Motormoment und Lastmoment)

$$\text{sch} := \text{sch}$$

Auflösen der Gleichung nach "sch"  
=> nur die 1. Lösung ist brauchbar

(da sch weiter oben als Bereichsvariable definiert ist, wird durch diese Definition eine symbolische Auswertung möglich)

$$T_N \cdot \frac{1.55 \cdot \text{sch}}{0.027 + 1.35 \cdot \text{sch}^2} = \frac{T_N}{5} + T_N \cdot (1.0 - \text{sch})^2 \quad \left| \begin{array}{l} \text{solve, sch} \\ \text{float, 8} \end{array} \right. \rightarrow \left( \begin{array}{c} 2.0621540 \cdot 10^{-2} \\ .14509720 - .81727425 \cdot i \\ .14509720 + .81727425 \cdot i \\ 1.6891841 \end{array} \right)$$

$$\text{sch}_B := 2.062154 \cdot 10^{-2}$$

Schlupf im Betriebspunkt

$$n_B := n_s - n_s \cdot \text{sch}_B$$

Betriebsdrehzahl

$$n_B = 734.534 \text{ min}^{-1}$$

$$T_M(\text{sch}_B) = 115.918 \text{ Nm}$$

Drehmoment im Betriebspunkt

$$T_L(\text{sch}_B) = 115.918 \text{ Nm}$$

$$J_{\text{red}} := J_{\text{Mot}} + J_{\text{Getr}} + \frac{J_{\text{Tro}}}{i_{\text{ges}}^2}$$

Reduktion des Massenträgheitsmomentes auf die Motorwelle

$$J_{\text{red}} = 0.824 \text{ kg m}^2$$

$$T_{\text{b}}(\text{sch}) := T_{\text{M}}(\text{sch}) - T_{\text{L}}(\text{sch})$$

Beschleunigungsmoment  
=> die jeweilige Differenz zwischen Motor- und Lastmoment

Hochlaufzeit des Antriebs

$$t_{\text{A}} = 2 \cdot \pi \cdot n_{\text{B}} \cdot \frac{J_{\text{red}}}{\int_{\text{sch}_{\text{B}}}^1 T_{\text{b}}(\text{sch}) \text{ dsch}}$$

$$t_{\text{A}} := 2 \cdot \pi \cdot n_{\text{B}} \cdot \frac{J_{\text{red}}}{\int_{\text{sch}_{\text{B}}}^1 \left[ T_{\text{N}} \cdot \frac{1.55 \cdot \text{sch}}{0.027 + 1.35 \cdot \text{sch}^2} - \left[ \frac{T_{\text{N}}}{5} + T_{\text{N}} \cdot (1.0 - \text{sch})^2 \right] \right] \text{ dsch}}$$

$$t_{\text{A}} = 0.365 \text{ s}$$

$$P_{\text{B}} := 2 \cdot T_{\text{L}}(\text{sch}_{\text{B}}) \cdot \pi \cdot n_{\text{B}}$$

Erforderliche Motorleistung

$$P_{\text{B}} = 8.916 \text{ kW}$$

$$\frac{P_{\text{B}} - P_{\text{N}}}{P_{\text{N}}} = 15.585 \%$$

Überlastung des Motors