Antrieb Maschinentisch

Ein Maschinentisch T soll über einen Kugelgewindetrieb translatorisch bewegt werden. Nach Bild 1 wird die Kugelspindel direkt von einem Elektromotor M mit der Drehzahl
n_M = 4000 min^{-1} angetrieben. Für die Auslegung der Schaltkupplung K wird angenommen, dass die Motordrehzahl während des Schaltvorganges konstant bleibt und der Maschinentisch am Anfang stillsteht. An der Spindel wirkt ein konstantes Lastmoment von T_L = 15 Nm.

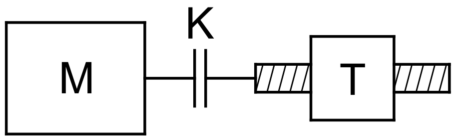

Bild 1: Direktantrieb

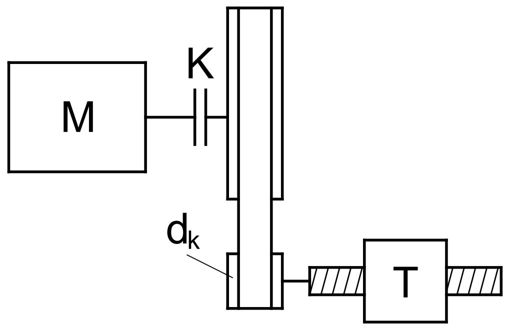

Bild 2: Mit Getriebe

Tisch:
Maximale Geschwindigkeit: v = 1,0 m/s
Masse des Schlittens: m_T = 250 kg
Beschleunigungszeit: $t_a = t_R$ = 0,2 s

Massenträgheitsmomente:
Kupplung (Abtriebseite): J_K = 0,002 kgm²
Spindel: J_S = 0,010 kgm²
Getriebeantriebswelle: $J_{G,an}$ = 0,014 kgm²
Getriebeabtriebswelle: $J_{G,ab}$ = 0,007 kgm²

a) Ermitteln Sie das erforderliche Kupplungsreibmoment (Schaltmoment) für den Direktantrieb (Bild 1).

b) Um unabhängig von der koaxialen Wellenanordnung zu sein und um einen kostengünstigen Normmotor mit einer Drehzahl von n_M = 1440 min^{-1} verwenden zu können, wird zwischen Motor und Spindel ein Riemengetriebe angeordnet (Bild 2). Ermitteln Sie hierfür das erforderliche Kupplungsmoment.

c) Besteht die Gefahr, dass der Riemen während des Schaltvorgangs durchrutscht, wenn er mit F_W = 3 kN vorgespannt wird, wenn die kleine Riemenscheibe einen Durchmesser von d_k = 90 mm hat? Als Reibbeiwert ist μ = 0,3 und für den Wellenabstand e ≈ 400 mm anzunehmen.

d) Beschreiben Sie qualitativ die Auswirkungen, wenn bei dem Direktantrieb (Bild 1) eine Kupplung mit einem Kupplungsnennmoment von T_{KNS} = 12 Nm eingebaut wurde.

Musterlösung:

a) Erforderliches Reibmoment für Direktantrieb

Mit dem Energieerhaltungsgesetz wird das translatorische Trägheitsmoment des Tisches in ein rotatorisches überführt:

$$E_{kin,rot} = E_{kin,trans}$$

$$\frac{J \cdot \omega^2}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad \Rightarrow \quad J = m\left(\frac{v}{\omega}\right)^2$$

Danach wird das Trägheitsmoment des Tisches:

$$J_T = m_T \left(\frac{v}{\omega_M}\right)^2 = m_T \left(\frac{1,0}{418,8}\right)^2 = 0,001425 \text{ kgm}^2$$

mit $\omega_M = 2\pi n_M = 2 \cdot \pi \cdot \frac{4000}{60} = 418,8 \text{ s}^{-1}$

Das gesamte reduzierte Trägheitsmoment ist dann:

$$J_{red} = J_K + J_S + J_T = 0,002 + 0,01 + 0,001425 = 0,01345 \text{ kgm}^2$$

Für das Beschleunigungsmoment gilt:

$$T_a = J_{red} \cdot \frac{\omega_M - \omega_{S0}}{t_R} = 0,01345 \cdot \frac{418,8 - 0}{0,2} = 28,16 \text{ Nm}$$

Das erforderliche Kupplungsmoment die Summe von Beschleunigungs- und Lastmoment:

$$T_R = T_{KS} = T_a + T_L = 28,16 + 15 = \underline{\underline{43,16 \text{ Nm}}}$$

b) Erforderliches Reibmoment mit Getriebe:

Kupplung und treibende Riemenscheibe drehen mit Motordrehzahl n_M.

Getriebene Riemenscheibe und Spindel drehen mit Spindeldrehzahl n_S.

Der Tisch bewegt sich translatorisch. Das heißt, die Massenträgheitsmomente von großer Riemenscheibe, Spindel und Tisch müssen auf die Kupplungsdrehzahl reduziert werden.

Das auf die Kupplungswelle reduzierte Trägheitsmoment ist dann:

$J_{red} = J_K + J_{G,an} + J_{G,ab,red} + J_{S,red} + J_{T,red} = 0,002 + 0,014 + 0,054 + 0,077 + 0,011 = 0,158$ kgm²

mit $\omega_M = 2\pi n_M = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1440}{60} = 150,8$ s⁻¹

und $J_{G,ab,red} = J_{G,ab} \left(\frac{\omega_S}{\omega_M} \right)^2 = 0,007 \left(\frac{418,8}{150,8} \right)^2 = 0,054$ kgm²

$J_{S,red} = J_S \left(\frac{\omega_S}{\omega_M} \right)^2 = 0,01 \left(\frac{418,8}{150,8} \right)^2 = 0,077$ kgm²

$J_{T,red} = m_T \left(\frac{v}{\omega_M} \right)^2 = 250 \left(\frac{1,0}{150,8} \right)^2 = 0,011$ kgm²

Für das Beschleunigungsmoment gilt:

$T_a = J_{red} \cdot \frac{\omega_M - \omega_{S0}}{t_R} = 0,158 \cdot \frac{150,8 - 0}{0,2} = 119,13$ Nm

Das Lastmoment muss auch auf die Kupplungswelle bezogen werden:

$T_{L,red} = \frac{T_L}{i} = \frac{15}{0,36} = 41,67$ Nm

mit $i = \frac{n_M}{n_S} = \frac{1440}{4000} = 0,36$

Das erforderliche Kupplungsmoment wird dann:

$T_R = T_{KS} = T_a + T_{L,red} = 119,13 + 41,67 = \underline{\underline{160,8 \text{ Nm}}}$

c) Riemenvorspannkraft

Großer Riemenscheibendurchmesser:

$d_g = \frac{d_k}{i} = \frac{90}{0,36} = 250$ mm

Erforderliche Umfangskraft an treibender Scheibe:

$F_t = \frac{2 \cdot T_g}{d_g} = \frac{2 \cdot T_R}{d_g} = \frac{2 \cdot 160,8 \cdot 10^3}{250} = 1286,4$ N

oder

$F_t = \frac{2 \cdot T_k}{d_k} = \frac{2 \cdot T_R \cdot i}{d_k} = \frac{2 \cdot 160,8 \cdot 10^3 \cdot 0,36}{90} = 1286,4$ N

Erforderliche Riemenkraft im Lasttrum:

$$F_{T1} = \frac{F_t \cdot e^{\mu \widehat{\beta}_k}}{e^{\mu \widehat{\beta}_k} - 1} = \frac{1286,4 \cdot e^{0,3 \cdot 2,739}}{e^{0,3 \cdot 2,739} - 1} = 2.295,84 \text{ N}$$

mit $\beta_k = 180° - 2 \cdot \alpha = 180° - 2 \cdot 11,53 = 156,94° \quad \Rightarrow \quad \widehat{\beta}_k = 2,739$

und $\sin\alpha = \frac{r_g - r_k}{e} = \frac{125 - 45}{400} = 0,2 \quad \Rightarrow \quad \alpha = 11,53°$

Erforderliche Riemenkraft im Leertrum:

$$F_{T2} = F_{T1} - F_t = 2295,84 - 1286,4 = 1009,44 \text{ N}$$

Erforderliche Wellenkraft (Näherungsrechnung):

$$F_{W,erf} = F_{T1} + F_{T2} = 2295,84 + 1009,44 = \underline{\underline{3305,3 \text{ N}}}$$

Erforderliche Wellenkraft (genaue Rechnung):

$$F_{W,erf} = \sqrt{F_{T1}^2 + F_{T2}^2 - 2 \cdot F_{T1} \cdot F_{T2} \cdot \cos\beta_k}$$

$$F_{W,erf} = \sqrt{2295,84^2 + 1009,44^2 - 2 \cdot 2295,84 \cdot 1009,44 \cdot \cos 156,94°} = \underline{\underline{3248,8 \text{ N}}}$$

↳ Da die Riemenvorspannkraft (3000 N) kleiner als die erforderliche Wellenkraft ist, besteht die Gefahr, dass der Riemen während des Schaltvorgangs durchrutscht.

Alternative Näherungslösungen mit $\beta_k = 180°$:

$$F_W = F_t \cdot \frac{e^{\mu \widehat{\beta}_k} + 1}{e^{\mu \widehat{\beta}_k} - 1} = 1286,4 \cdot \frac{e^{0,3 \cdot 2,739} + 1}{e^{0,3 \cdot 2,739} - 1} = 3.305,3 \text{ N}$$

oder

$$F_W = F_{T2} \cdot \left(e^{\mu \widehat{\beta}_k} + 1\right) = 1009,44 \cdot \left(e^{0,3 \cdot 2,739} + 1\right) = 3.305,3 \text{ N}$$

d) Kupplung mir T_{KNS} = 12 Nm

Da $T_{KNS} < T_L$ ist, wird das Beschleunigungsmoment T_a negativ. Das heißt, die Kupplung rutscht ständig durch und der Tisch kann nicht bewegt werden.