



tgtm HP 2019/20-4: Antrieb

(Wahlaufgabe)

Zum Schwenken großer Lasten wird der Kranarm des Säulendrehkrans mit einem elektrischen Antrieb und Getriebe ausgestattet. Siehe unten dargestellte Prinzipskizze.

Daten des E-Motors

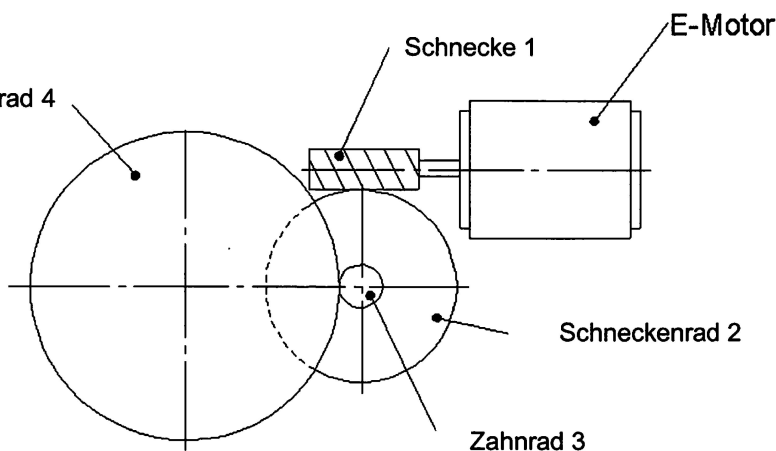
Leistung: $P_M = 17 \text{ kW}$
 Umdrehungsfrequenz: $n_M = 1400 \text{ min}^{-1}$ Zahnrad 4
 Motorwirkungsgrad: $\eta_M = 0,85$

Daten des Getriebes

Modul: $m = 2,5 \text{ mm}$
 Getriebewirkungsgrad: $\eta_G = 0,7$

Zähnezahlen:

$z_1 = 2$ $z_2 = 50$
 $z_3 = 15$ $z_4 = 87$



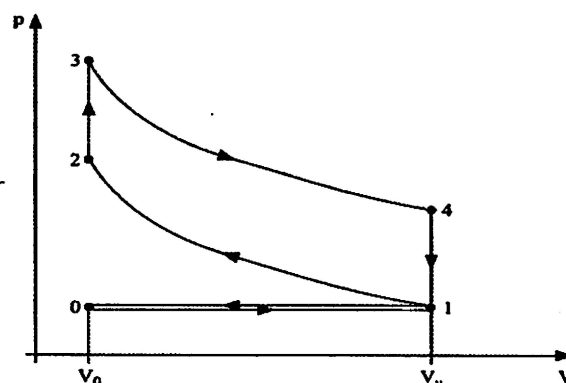
- 1 Nennen Sie zwei Vorteile eines Schneckengetriebes gegenüber anderen Getriebearten. 2,0
- 2 Ermitteln Sie den Achsabstand der geradverzahnten Zahnräder 3 und 4. 2,0
- 3 Bestimmen Sie die Drehzahl n_4 . 2,0
- 4 Am Zahnrad 4 wird zum Bewegen des Kranarms ein Drehmoment von $M_4 = 8 \text{ kNm}$ benötigt. 3,0

Weisen Sie nach, dass der Motor dafür ausreichend dimensioniert ist.

Damit die Produktion auch bei Stromausfall gewährleistet ist, steht der Firma ein Notstromaggregat zur Verfügung. Das p-V-Diagramm des Vergleichsprozesses ist unten abgebildet.

Daten

Temperatur der angesaugten Luft: $t_1 = 40^\circ\text{C}$
 Druck der angesaugten Luft: $p_1 = 0,9 \text{ bar}$
 Verdichtungsverhältnis (V_1/V_2): $\epsilon = 10$
 Temperatur nach der Verbrennung: $T_3 = 2573 \text{ K}$
 Temperatur nach der Expansion: $T_4 = 1024 \text{ K}$



- 5 Beschreiben Sie die technischen Vorgänge zwischen den Punkten 0 und 1 im Vergleichsdiagramm. 1,0
- 6 Berechnen Sie die Zustandsgrößen p_2 und T_2 . 3,0
- 7 Die Masse der angesaugten Luft sei $m = 0,24 \text{ g}$, die Temperatur $T_2 = 786 \text{ K}$.
 - 7.1 Überprüfen Sie, ob der Motor eine Nutzarbeit von mindestens 180 Nm pro Zyklus erreicht. 4,0
 - 7.2 Bestimmen Sie den thermischen Wirkungsgrad des Motors. 3,0



- 8 Zur Finanzierung der Umbauten des Säulendrehkrans werden mit der Hausbank Verhandlungen aufgenommen. Die Herz Werkzeugbau GmbH will alle Säulendrehkräne entsprechend umrüsten. Das Investitionsvolumen beträgt voraussichtlich 200.000 €. Im Unternehmen schätzt man, dass die neuen Antriebe eine Nutzungsdauer von 5 Jahren haben.

Die Bank bietet:

	Endfälligkeitsdarlehen	Ratentilgungsdarlehen
Laufzeit in Jahren	4	4
Zinssatz	2,5 %	4%
Besicherung	Bürgschaft	Sicherungsübereignung

Erstellen Sie zu jeder Darlehensart eine graphische Skizze aus der die Zins- und Tilgungsmodalität hervorgeht. Die genauen Zahlenwerte sind hierbei nicht zu berücksichtigen 2

- 9 Heinrich Herz hat auf der letzten Sitzung des Unternehmerverbandes erfahren, dass Finanzierungen möglichst im Rahmen der „Fristenkongruenz“ (Goldene Finanzierungsregel) erfolgen sollten.
- 9.1 Beurteilen Sie, ob die beiden Darlehen aus Aufgabe 4.9 dieser Regel entsprechen. 1,0
- 9.2 Berechnen Sie, welches Darlehen Herr Herz unter Kostengesichtspunkten wählen sollte und erläutern Sie das Ergebnis. 3,0
- 10 In der Produktion der Herz Werkzeugbau GmbH wird ein neuer Mitarbeiter benötigt. Der Bewerber Herr Renz und Personalleiter Sorgfalt einigen sich auf die wesentlichen Arbeitsbedingungen während des Einstellungsgesprächs am 4.10.20... 1,0
- Der erste Arbeitstag für Herr Renz soll der 15.10.20.. sein.
Am 20.11. erhält er den Arbeitsvertrag in Schriftform.
- Begründen Sie mit Datum, wann der Arbeitsvertrag rechtlich zustande kam.
- 11 Folgender Arbeitsvertrag wird Herrn Renz ausgehändigt: 3,0

<p>Zwischen der Herz Werkzeugbau GmbH - Im Steinlachwasen 12, 72072 Tübingen</p> <p>und</p> <p>Herrn Jochen Renz wohnhaft Musterstraße 14, 72810 Gomaringen</p> <p>wird folgender Arbeitsvertrag geschlossen:</p> <p>§ 1 Beginn des Arbeitsverhältnisses</p> <p>Das Arbeitsverhältnis beginnt am 15.10.20..</p> <p>§ 2 Probezeit</p> <p>Das Arbeitsverhältnis wird auf unbestimmte Zeit geschlossen Die ersten 8 Monate gelten als Probezeit.</p> <p>§ 3 Tätigkeit</p> <p>Der Arbeitnehmer wird als Systemprogrammierer eingestellt.</p>	<p>§4 Arbeitsvergütung</p> <p>Der Arbeitnehmer erhält ein Bruttogehalt von 3.380 € / monatlich. Das Unternehmen ist nicht tarifgebunden.</p> <p>§ 5 Arbeitszeit</p> <p>Die regelmäßige Wochenarbeitszeit beträgt 40h bei einer 5 Tage Woche.</p> <p>§6 Urlaub</p> <p>Der Arbeitnehmer hat 22 Werktage Urlaub im Jahr.</p> <p>Ort, Tübingen</p> <p>Unterschrift Arbeitgeber gez. Hartmut Sorgfalt (Personalleiter)</p> <p>Datum den 20.11...</p> <p>Unterschrift Arbeitnehmer gez. Jochen Renz</p>
--	--

Überprüfen Sie den Arbeitsvertrag auf Pflichtverletzungen durch den Arbeitgeber (3 Aspekte).



Lösungen

Getriebe (9): technische Fragen (Schnecken, Achsabstand), Drehzahl, Leistungsbedarf

Energietechnik (11) pV-Diagramm erkennen und technische Vorgänge beschreiben, Zustandsgrößen ermitteln, thermischen Wirkungsgrad und Nutzarbeit berechnen

- 1 Schneckentriebe können große Übersetzungen auf engem Raum realisieren, sind (annähernd) selbsthemmend (= lassen sich nicht von der Abtriebsseite her drehen. Beispiel: Bei Motorausfall fällt die Last nicht herunter) und laufen ruhig

2 Achsabstand $a = \frac{m \cdot (z_3 + z_4)}{2} = \frac{2,5 \text{ mm} \cdot (15 + 87)}{2} = 127,5 \text{ mm}$ (\rightarrow [EuroTabM] „Zahnradmaße“)¹

3 $i = i_1 \cdot i_2 = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} = \frac{50}{2} \cdot \frac{87}{15} = 145$

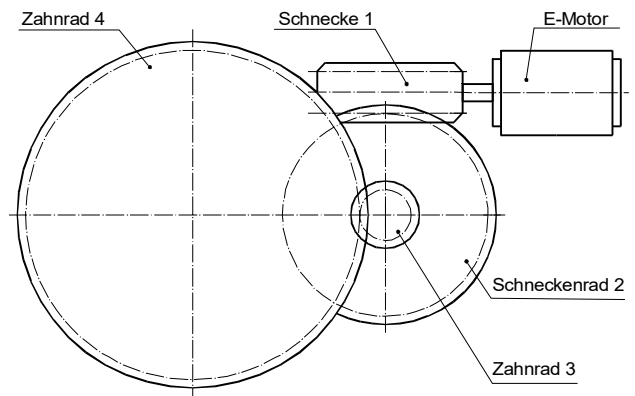
$i = \frac{n_{zu}}{n_{ab}} \Rightarrow n_4 = \frac{n_1}{i} = \frac{1400}{145} \frac{1}{\text{min}} = 9,66 \frac{1}{\text{min}} = 0,161 \frac{1}{\text{s}}$

4 $P_4 = 2 \pi \cdot M \cdot n = 2 \pi \cdot 8 \text{ kNm} \cdot 9,66 \text{ min}^{-1} = 8,1 \text{ kW}$

$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{P_4}{P_{M,erf}} \Rightarrow P_{M,erf} = \frac{P_4}{\eta}$

$P_{M,ab,erf} = \frac{8,1 \text{ kW}}{0,7} = 11,6 \text{ kW} < P_M$ reicht!

$P_{M,zu,erf} = \frac{8,1 \text{ kW}}{0,7 \cdot 0,85} = 13,6 \text{ kW} < P_M$ reicht!



Die Motorleistung P_M reicht aus, unabhängig davon, ob mit P_M die abgegebene mechanische oder die zugeführte elektrische Leistung gemeint ist.

Hinweis 1: Es sind zahlreiche weitere Lösungswege möglich.

- 5 pV-Diagramm

Dem Anschein nach stellt das pV-Diagramm den idealisierten Kreisprozess eines Viertakt-Ottomotors mit Ladungswechselschleife dar. Für diesen Fall gilt:

1 – 0 – 1: Im pV-Diagramm direkt erkennbar ist nur, dass sich die Größe des Brennraumes isobar ändert \rightarrow Kolbenbewegung, Gaswechselschleife, Gasaustausch.

1 – 0: Kolben bewegt sich von UT nach OT, im Brennraum herrscht leichter Überdruck, Abgase werden ausgestoßen (Ausstoßtakt), Auslassventil ist geöffnet ...

0 – 1: Kolben bewegt sich von OT nach UT, im Brennraum herrscht leichter Unterdruck, Frischgase werden angesogen (Ansaugtakt), Einlassventil ist geöffnet ...

Hinweis 2: Es sind weitere Ebenen der „technischen Vorgänge“ denkbar. Es genügt, wenn eine davon genannt wird.

- 6 Adiabate Zustandsänderung 1 – 2 (Viertakt-Ottomotor):

$\frac{T_1}{T_2} = \left[\frac{p_1}{p_2} \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left[\frac{V_2}{V_1} \right]^{\kappa-1}$ und $\epsilon = \frac{V_1}{V_2}$ und $\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{1,005 \text{ kJ/kgK}}{0,718 \text{ kJ/kgK}} = 1,4 \Rightarrow$

$\frac{T_1}{T_2} = \left[\frac{V_2}{V_1} \right]^{\kappa-1} = \left[\frac{1}{\epsilon} \right]^{\kappa-1} \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \epsilon^{\kappa-1} = (273 + 40) \text{ K} \cdot 10^{1,4-1} = 786 \text{ K}$

$\left[\frac{p_1}{p_2} \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left[\frac{V_2}{V_1} \right]^{\kappa-1} = \left[\frac{1}{\epsilon} \right]^{\kappa-1} \Rightarrow p_2 = p_1 \cdot \epsilon^{\kappa} = 0,9 \text{ bar} \cdot 10^{1,4} = 22,6 \text{ bar}$

- 1 Hinweis: Der (!) Modul m eines Zahnrades ist das Verhältnis zwischen Teilkreis \varnothing und Zähnezahl bzw. der Zahnabstand, wenn man die Zähne auf dem Teilkreis \varnothing verteilen würde. Zahnräder, die ineinandergreifen, müssen den gleichen Modul haben und rollen gedacht auf ihren Teilkreisen ab (etwa auf halber Höhe der Zähne). In technischen Zeichnungen stellt man Verzahnungen durch ihre Teilkreise in schmaler Strich-Punkt-Linie dar, aber im Technik-Abi sind normgerechte technische Zeichnungen nicht mehr selbstverständlich :-((



Unter der Annahme einer isothermen Zustandsänderung 1 – 2:

$$T_2 = T_1 = (273 + 40) \text{ K} = 313 \text{ K}$$

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \Rightarrow p_2 = p_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2} \right) = p_1 \cdot \epsilon = 0,9 \text{ bar} \cdot 10 = 9 \text{ bar}$$

7 Nutzarbeit und Wirkungsgrad²

7.1 Aus den isochoren Wärmemengen: [$Q_{12} = Q_{34} = 0$ weil adiabat]

$$Q_{23} = c_V \cdot m \cdot \Delta T_{23} = 718 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0,24 \text{ g} \cdot (2573 \text{ K} - 786 \text{ K}) = 307,9 \text{ J}$$

$$Q_{41} = c_V \cdot m \cdot \Delta T_{41} = 718 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0,24 \text{ g} \cdot (313 \text{ K} - 1024 \text{ K}) = -122,5 \text{ J}$$

$$\Sigma Q = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41} = 0 + 307,9 \text{ J} + 0 - 122,5 \text{ J} = 185,4 \text{ J}$$

$$\Sigma Q + \Sigma W = 0 \Rightarrow W_{\text{Nutz}} = \Sigma W = -\Sigma Q = -185,4 \text{ J}$$

Aus den adiabatn Arbeiten: [$W_{23} = W_{41} = 0$ weil isochor] ($W_{12\text{-isotherm}} = 49,7 \text{ J}$)

$$W_{12} = -\frac{m \cdot R_i}{1 - \kappa} \cdot (T_2 - T_1) = -\frac{0,24 \text{ g} \cdot 287 \text{ J}}{(1 - 1,4) \cdot \text{kgK}} \cdot (786 - 313) \text{ K} = +81,5 \text{ J}$$

$$W_{34} = -\frac{m \cdot R_i}{1 - \kappa} \cdot (T_4 - T_3) = -\frac{0,24 \text{ g} \cdot 287 \text{ J}}{(1 - 1,4) \cdot \text{kgK}} \cdot (1024 - 2573) \text{ K} = -266,7 \text{ J}$$

$$W_{\text{Nutz}} = \Sigma W = +W_{12} + W_{23} + W_{34} + W_{41} = 81,5 \text{ J} + 0 - 266,7 \text{ J} + 0 = -185,2 \text{ J}$$

Der Betrag von 180 J für W_{Nutz} wird erreicht.

7.2 Aus dem Wärmemengen:

$$\eta_{\text{therm}} = 1 - \frac{|Q_{\text{ab}}|}{Q_{\text{zu}}} = 1 - \frac{|Q_{41}|}{Q_{23}} = 1 - \frac{|-122,5 \text{ J}|}{307,9 \text{ J}} = 0,60$$

Aus Nutzarbeit und Wärme:

$$\eta_{\text{therm}} = \frac{|W_{\text{Nutz}}|}{Q_{\text{zu}}} = \frac{|W_{\text{Nutz}}|}{Q_{23}} = \frac{|-185,2 \text{ J}|}{307,9 \text{ J}} = 0,60$$

Alle Ergebnisse für einen Viertakt-Ottomotor mit Adiabaten und Isochoren:

Ergebnisse		Aufgabe: tgmt HP 2019/20a-4Notstromaggregat													
Zustand	Typ	1E+05 p bar	1E-03 V l	1E+00 T K	1E+00 ϑ °C	1E+03 w ₋ kJ/kg	1E+03 W kJ	1E+03 q ₋ kJ/kg	1E+03 Q kJ	1E-03 m g	1E+03 cp kJ/kgK	1E+03 cv kJ/kgK	1E+03 Rs kJ/kgK	1E+00 χ	1E+00 ε
1		0,90	0,240	313,2	40,00					0,240	1,005	0,718	0,287	1,400	
12	a					339	0,1	0,0	0,00		1,005	0,718	0,287	1,400	10,00
2		22,55	0,024	786,0	512,85					0,240	1,005	0,718	0,287	1,400	
23	c					0	0,0	1283,1	0,31		1,005	0,718	0,287	1,400	1,00
3		74,01	0,024	2573,0	2299,85					0,240	1,005	0,718	0,287	1,400	
34	a					-1111,4	-0,3	0,0	0,00		1,005	0,718	0,287	1,400	0,10
4		2,94	0,240	1024,0	750,85					0,240	1,005	0,718	0,287	1,400	
41	c					0,0	0,0	-510,4	-0,12		1,005	0,718	0,287	1,400	1,00
1		0,90	0,240	313,2	40,00					0,240	1,005	0,718	0,287	1,400	
											1,005	0,718	0,287	1,400	
						ΣwNutz	ΣWnu	Σq ₋	ΣQ	m _{Hub}	η _{therm}				
						-772	-0,2	772,7	0,2	0,2	0,602				
						Σwab	ΣWab	Σqab	ΣQab		η _{carnot}				
						-1111	-0,3	-510,4	-0,1		0,878				
						Σwzu	ΣWzu	Σqzu	ΣQzu						
						339	0,1	1283,1	0,3						

8 und folgende: Hier keine Lösungen

2 Geringfügige Abweichungen resultieren aus den Rundungen von Vorgabe- und Zwischenwerten.