

Schriftliche Prüfung aus „Energieübertragung und Kraftwerke“, am 06.03.2013

Name/Vorname: _____ / _____ Matr.-Nr./Knz.: _____ / _____

1. Gaskraftwerk (25 Punkte)

Ein mit Erdgas betriebenes Kraftwerk weist im Abgasstrom folgende Masseanteile der einzelnen Komponenten auf:

$$\dot{m}_{CO_2} = 53,50 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 43,77 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{O_2} = 54,47 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{N_2} = 435,44 \text{ kg/s}$$

Hinweise:

Molmassen (alle in kg/kmol): C: 12; H: 1; O: 16; N: 14

Avogadro: $V_m = 22,4136$ Liter pro mol bei Normalbedingungen

Heizwert-Erdgas: $H_{u,V} = 35800$ kJ/m³

Luft: $\sim 21\%V O_2$; $\sim 79\%V N_2$

- (7) Wie groß ist der Luftvolumenstrom \dot{V}_{Luft} [m³/s], welcher der Verbrennung zugeführt wird?
- (7) Mit welcher Luftüberschusszahl λ wird der Kessel betrieben?
- (7) Wie groß ist der Brennstoffvolumenstrom \dot{V}_{CH_4} [m³/s]?
- (4) Wie groß ist die thermische Kesselleistung P_{th} in [MW]?

2. Gasturbine (25 Punkte)

Eine offene Gasturbine arbeitet mit Luft nach dem Joule-Prozess.

Daten: $p_3 = p_4 = 1$ bar und $p_1 = p_2 = 8$ bar

Ansaugtemperatur $t_4 = 22^\circ\text{C}$

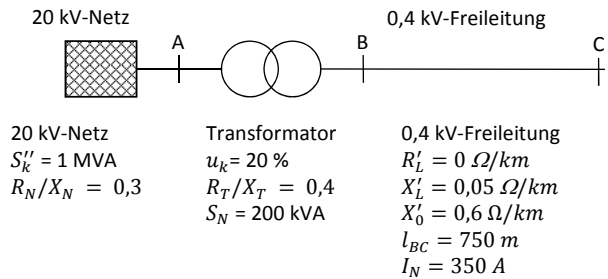
Maximale Prozesstemperatur $t_2 = 1200^\circ\text{C}$

Spezifische Wärmekapazität: $c_p = 1,015$ kJ/(kg K)

$\kappa_{Luft} = 1,4$

- (4) Skizzieren Sie das pV- und das TS-Diagramm und beschriften Sie die relevanten Punkte
- (4) Wie hoch sind die Temperaturen T_3 und T_1 (nach dem Verdichter und nach der Turbine)?
- (2) Wie groß ist die spezifische Verdichterarbeit (W_{41}/m – die dem Verdichter bei keinerlei Verlusten zugeführt werden muss)?
- (2) Wie groß ist die spezifische Turbinenarbeit W_{23}/m ?
- (2) Wie groß ist die spezifische Nutzarbeit?
- (3) Wie groß ist die spezifische Wärmezufuhr und Wärmeabfuhr?
- (2) Welcher Massenstrom ist für eine abgegebene mechanische Leistung von 2 MW erforderlich?
- (3) Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad und das Arbeitsverhältnis?
- (3) Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad, wenn als Arbeitsmedium Helium (eina-atomiges Gas, 3 Freiheitsgrade) verwendet wird?

3. Schutztechnik (25 Punkte)



Hinweis: Die angegebene Netzkurzschlussleistung S_K'' ist mit einem Sicherheitsfaktor $c = 1,1$ berechnet worden.

- a) (3) Bestimmen Sie den maximal zulässigen Betriebsstrom am Netzknoten C.
Hinweis: die Nennströme dürfen dabei nicht überschritten werden.
- b) (9) Wie hoch ist die Kurzschlussleistung im Netzknoten C ($c=1$)?
- c) (4) Wie hoch ist der maximale dreipolige Kurzschlussstrom im Netzknoten C?
- d) (3) Wie hoch ist der minimale einpolige Kurzschlussstrom am Netzknoten C?
HINWEIS: verwenden sie hierzu die Abschätzung

$$I''_{1p} = \sqrt{3} \cdot \frac{0,95 \cdot U_N}{\sqrt{(2 \cdot R_N + 2 \cdot R_T + 2 \cdot R_L)^2 + (2 \cdot X_N + 2 \cdot X_T + 2 \cdot X_L + X_0)^2}}$$

- e) (6) Wie lange darf die Leitung zwischen B und C maximal sein, sodass der minimale einpolige Kurzschlussstrom mindestens 50% größer ist, als der maximal zulässige Betriebsstrom?

4. Stirlingmotor (25 Punkte)

Ein Stirlingmotor soll zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Es wird ein 6-poliger Generator verwendet. Als thermische Quelle wird ein Holzofen verwendet, in den der obere Zylinderteil hineinragt. Die untere Temperatur wird durch einen Warmwasserkreislauf für die Zimmerheizung verwendet, dessen mittlere Temperatur am unteren Teil des Stirlingzylinders 70°C beträgt. Der Druck ist dabei $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$. Es wird eine Wellenleistung von 8 kW benötigt.

Daten des Motors:

Wellenleistung: 8 kW

Untere Temperatur $T_1 = T_2 = 70^\circ\text{C}$

Volumen bei Verdichtung: $V_2 = V_3 = 0,4 \text{ Liter}$

Volumen bei Expansion: $V_1 = V_4 = 2,5 \text{ Liter}$

Das im Motor befindliche Arbeitsmedium Luft soll durch seine spezielle Gaskonstante $R = 287,2 \text{ J/(kg K)}$ bei 0°C und 1 bar dargestellt werden.

- a) (6) Skizzieren Sie das pV- und das TS-Diagramm und beschriften Sie die relevanten Punkte.
- b) (3) Welcher Massenstrom wird im Motor bewegt?
- c) (4) Wie groß ist die erforderliche obere Temperatur?
- d) (3) Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad?
- e) (3) Wie groß ist das Arbeitsverhältnis?
- f) (3) Wie groß ist die Heizleistung des Kühlwasserkreislaufs ($1 - 2$)?
- g) (3) Wie groß ist die gesamte Heizleistung der Feuerungsanlage?

Formelzusammenstellung und Kennzahlen:

Poissonsche Gleichungen: $\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^k$ und $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{k-1}{k}}$

Molmassen (alle in kg/kmol):

C: 12; H: 1; O: 16; N: 14;

Avogadro: $V_m = 22,4136 \text{ Liter pro mol bei Normalbedingungen}$

Heizwert-Erdgas: $H_{u,v} = 35800 \text{ kJ/m}_N^3$