

Schriftliche Prüfung aus VO Kraftwerke am 13.03.2019

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

1. Abgasstrom eines Gaskraftwerks (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

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

Heizwert-Erdgas: $H_{i,v} = 35800$ kJ/m³

Zusammensetzung Luft: ~21%_v O₂; ~79%_v N₂

- (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. Stirlingmotor (25 Punkte)

Ein Stirlingmotor soll zur Stromerzeugung in einem 50 Hz Netz eingesetzt werden. Es wird ein 6-poliger Generator mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 97% verwendet. Als thermische Quelle dient ein Holzofen, in den der obere Zylinderteil hineinragt. Die untere Temperatur wird durch einen Warmwasserkreislauf für die Zimmerheizung verwendet, so dass die mittlere Temperatur am unteren Teil des Stirlingzylinders 70°C beträgt. Der Druck ist dabei 1 bar = 10⁵ N/m². Der Stirlingmotor soll eine elektrische Leistung von 8 kW abgeben.

Daten des Motors:

Volumen nach Expansion: $V_1 = 2,7$ Liter

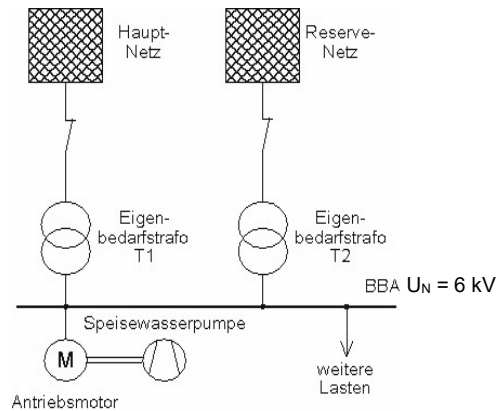
Verdichtungsverhältnis: $\epsilon = 6,25$

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

- (6) Skizzieren Sie das **pV- und das TS-Diagramm** und beschriften Sie die relevanten Punkte.
- (3) Wie groß ist die benötigte **Wellenleistung** des Stirlingmotors?
- (5) Wie groß ist das **Volumen bei Verdichtung** und welcher **Massenstrom** wird im Motor bewegt?
- (3) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?
- (3) Wie groß ist die benötigte **Heizleistung**?
- (5) Auf welches Niveau müsste die **obere Temperatur** unter sonst gleichen Bedingungen angehoben werden, damit der **Wirkungsgrad auf 55%** ansteigt?

3. Eigenbedarfsnetz eines Kraftwerkes (25 Punkte)

Gegeben ist folgendes vereinfacht dargestelltes Eigenbedarfssystem eines Kraftwerkes.



Haupt- und Reservenetz: $Z_{HN} = Z_{RN} = 0$

Trafo T1 und T2: $S_N = 20 \text{ MVA}; u_k = 15\%; R_T = 0; Z_{T1} = Z_{T2} = Z_T$

Speisewasserpumpe: $P_{FWP} = 3,5 \text{ MW}$ (mechanische Wellenleistung im Normalbetrieb)

Motor: $U_N = 6 \text{ kV}; \eta = 0,95; \cos \varphi = 0,87; I_A/I_N = 6$

Beim Anlauf: $\cos \varphi_A = 0,20$

Weitere Lasten (Motorgruppe): $\cos \varphi_{EB} = 0,85; I'_{KEB} = 2,5 \text{ kA}$

- Bestimmen Sie die **Scheinleistung** und den **Bemessungsstrom** des Antriebsmotors für die Kesselspeisepumpe. Berücksichtigen Sie dabei, dass der Motor aus Gründen der Redundanz auf die doppelte Wellenleistung ausgelegt ist.
- Bestimmen Sie den **Anlaufstrom des Antriebsmotors** bei Nennbedingungen und damit den Kurzschlussstrombeitrag.
- Berechnen Sie die **wirksamen Impedanzen der Betriebsmittel** (Resistanz und Reaktanz) für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene BBA bei Parallelbetrieb von Reserve- und Haupteinspeisung.

Für die folgenden Punkte seien für die wirksamen Impedanzen der Betriebsmittel folgende Werte anzunehmen $Z_N = 0 \Omega, Z_T = (0 + j0,27) \Omega, Z_{M_{an}} = (0,142 + j0,694) \Omega$

- Schätzen Sie den **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene BBA mit der Berücksichtigung des Kurzschlussstrombeitrages der Motoren ab, wenn aus dem Haupt- und Reservenetz einspeisung gespeist wird.
- Wie groß darf die **bezogene Kurzschlussspannung des Transformators** höchstens sein, damit bei Einspeisung aus Reserve- und Hauptnetz beim Anlauf des Motors der **Spannungseinbruch** an der Sammelschiene BBA **unter 10%** bleibt?

4. GuD Kraftwerk (25 Punkte)

Die Abnahmetests an einem Gas- und Dampfkraftwerk (GuD) mit Fernwärmeauskopplung ergaben folgende spezifische Energiemengen:

Gasturbine GT		Dampfturbine DT	
Spez. Verdichterarbeit	325 kJ/kg	Spez. Turbinenarbeit	688 kJ/kg
Spez. Turbinenarbeit	745 kJ/kg	Spez. Kompressionsarbeit - Speisewasserpumpe	18 kJ/kg
Spez. Wärmezufuhr	1035 kJ/kg	Spez. Wärmeauskopplung Fernwärme	410 kJ/kg
Spez. Wärmeabgabe	615 kJ/kg	Wärmezufuhr der DT = 70% Wärmeabgabe der GT	

Massen- und Stoffänderungen in der Brennkammer sollen vernachlässigt werden. Die Massenverhältnisse des Gasturbinenprozesses mit dem Dampfturbinenprozess sind im Verhältnis 4:1. Der elektrische Wirkungsgrad des Generators ist 97%.

Heizwert-Erdgas: $H_{i,V} = 35 \text{ 800 kJ/m}^3$

- Zeichnen Sie das **Ersatzschaltbild** des kombinierten Gas- und Dampfprozesses und **beschriften** Sie die Symbole.
- Bestimmen Sie den **elektrischen Wirkungsgrad** der **Gasturbine**.
- Bestimmen Sie den **Wirkungsgrad der Dampfturbine mit und ohne Fernwärmeauskopplung**.
- Bestimmen Sie den **Wirkungsgrad der gesamten GuD-Anlage mit und ohne Fernwärmeauskopplung**.
- Welche **Brennstoffmenge** (m^3/h) ist für eine elektrische **Gesamtleistung** (GuD) von **200 MW** nötig?
- Welche **Brennstoffmenge** (m^3/h) muss bei der Gasturbine erfolgen, um eine **effektive Fernwärmeauskopplung von 65 MW** zu erzielen?