

Schriftliche Prüfung aus VU Energieübertragung und Kraftwerke am 11.11.2014

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

1. Rechtsdrehender Carnot-Prozess (25 Punkte)

Die Masse $m = 1$ kg des idealen Gases Luft durchläuft einen Carnot-Kreisprozess. Die untere Temperatur beträgt $T_U = 25^\circ\text{C}$ und der untere Druck $p_U = 1$ bar.

Das Druckverhältnis von höchstem zu niedrigsten Druck ist $p_1/p_3 = 55$.

Das Volumenverhältnis $V_3/V_4 = 4$.

Für Luft gilt weiteres: $c_p = 1,015$ kJ/(kg K); $\kappa_{\text{Luft}} = 1,4$; $R = 0,287$ kJ/(kg K).

- (3) Skizzieren Sie das **pv-Diagramm** des Carnot-Prozesses und beschriften Sie alle relevanten thermodynamische Zustandspunkte.
- (3) Wie groß ist das **Gasvolumen** im Punkt 3?
- (3) Wie groß sind **Volumen V_4** und **Druck p_4** ?
- (3) Wie groß ist die **Wärmeabfuhr Q_{34}** ?
- (4) Wie groß ist die **Verdichtungsarbeit W_{41}** ?
- (4) Wie groß ist die **zugeführte Wärme**?
- (3) Wie groß ist die **abgegebene Nutzarbeit**?
- (2) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad** (Carnot Faktor)?

2. CO₂ Vergleich (25 Punkte)

Zur Erzeugung von elektrischer Energie stehen zwei Kraftwerkstypen zur Auswahl:

KW1: Kohlekraftwerk mit Entstickung und Entschwefelung mit einem Gesamtwirkungsgrad der elektrischen Energieumwandlung von 40%. Die eingesetzte Kohle hat einen eingesetzten Heizwert von 31MJ/kg. Chemische Zusammensetzung der eingesetzten Kohle (Massenprozent):

Kohlenstoff: 96% Wasserstoff: 3% Schwefel: 1%

KW2: Gas- und Dampfkraftwerk (GUD) mit einem Gesamtwirkungsgrad der elektrischen Energieumwandlung von 52%. Der Heizwert von Erdgas beträgt von 33,5MJ/kg. Chemische Zusammensetzung des eingesetzten Erdgas (Massenprozent):

Kohlenstoff: 88% Wasserstoff: 12%

Atom und Molekulargewichte:

H: 1 C: 12 O: 16 S: 32 Ca: 40

Das auszuwählende Kraftwerk soll 200MW elektrische Leistung erzeugen, davon werden 100 MW zur Beheizung von Wohnungen mit einem elektrischen Heizwirkungsgrad von 92% verwendet.

- (8) Wie groß sind die **stündlichen Kohlendioxidausstöße** beider Kraftwerke?
- (2) Wie groß ist die zu deckende **thermische Last**?

Das Kohlekraftwerk (KW1) soll nun die thermische Last durch eine Fernwärmeauskopplung decken. Dadurch reduziert sich die zu erzeugende elektrische Leistung des Kraftwerks um 100 MW. Der Wirkungsgrad der elektrischen Energieumwandlung beträgt 35%.

- (5) Welche **Brennstoffzufuhr** ist für die elektrische und thermische Energieerzeugung notwendig? Wie groß ist der **Gesamtwirkungsgrad** des Kraftwerks?
- (5) Wie groß ist jetzt der **stündliche Kohlendioxidausstoß** des Kohlekraftwerks?
- (5) Welche **stündliche Gipsmenge** und **Volumen** ($\rho_{\text{Gips}} = 2,3$ t/m³) fallen bei dem Nassentschwefelungsverfahren mit 90 % Schwefeldioxid-Abscheidegrad des Kohlekraftwerks unter gegebener thermischer und elektrischer Last an?

Hinweis: Bei diesem Verfahren wird das Schwefeldioxid (SO₂) durch chemische Reaktion mit Kalk in Gips (CaSO₄ 2(H₂O)) umgewandelt.

3. Asynchrongenerator als Einspeiser (25 Punkte)

Ein Asynchrongenerator soll über ein Kabel in ein 400V-Niederspannungs-Netz mit einer Kurzschlussleistung von 5 MVA ($c = 1,1$) einspeisen, der Winkel des Netzes beträgt 88° .

Daten des Asynchrongenerators:

$$\begin{array}{lll} \text{Nennbetrieb:} & S_N = 40 \text{ kVA} & \cos(\varphi_N) = 0,85 \\ \\ \text{Anlauf:} & \frac{I_A}{I_N} = 5 & \left. \frac{R_M}{X_M} \right|_{\text{Anlauf}} = 0,04 \end{array}$$

Daten des Kabels:

$$R'_L = 0,1 \frac{\Omega}{\text{km}} \quad X'_L = 0,2 \frac{\Omega}{\text{km}} \quad \ell_L = 600 \text{ m}$$

- a. (7) Wie groß ist die **Kurzschlussleistung** und der **Netzwinkel** im Anschlusspunkt des Generators ($c = 1$)?

Für die nun folgenden Berechnungen sollen die **näherungsweise Abschätzungen** verwendet werden:

- b. (6) Wie hoch ist die **schaltbedingte Spannungsänderung** im Moment des Umschaltens des Generators? Ist diese **zulässig**?
- c. (3) Wie hoch ist die **stationäre Spannungsanhebung**? Ist diese **zulässig**?
- d. (3) Durch einen Drehstromsteller kann der Anlaufstrom des Generators beschränkt werden. Welcher **Anlaufstrom** ist **maximal einzustellen**, damit die schaltbedingte Spannungsänderung innerhalb des zulässigen Bereichs bleibt?
- e. (3) Alternativ könnte auch das Anschlusskabel verstärkt werden. Wie hoch müsste die **Kurzschlussleistung** im Anschlusspunkt des Motors nach der Verstärkung sein, damit die schaltbedingte Spannungsänderung innerhalb des zulässigen Bereichs bleibt (die Netzwinkel bleiben unverändert)?
- f. (3) Welche **Parameter** ($R'_{L, \text{neu}}$ und $X'_{L, \text{neu}}$) müsste das verstärkte Kabel aufweisen, um die Kurzschlussleistung gem. Punkt e. zu erhalten (die Netzwinkel bleiben unverändert)?

4. Dezentrale Versorgung - wärmegeführte BSZ mit Wärmepumpe (25 Punkte)

Ein Haus weist eine **elektrische Last** von $P_{el} = 1000 \text{ W}$ auf. Der **Wärmebedarf** weist eine Heizleistung von $P_{Wärme} = 4000 \text{ W}$ auf. Das Haus wird mit einer **wärmegeführten Brennstoffzelle** versorgt, welche Strom und Wärme bereitstellt. Weiters steht eine **Wärmepumpe (Leistungszahl $\varepsilon_w = 4$)** zur Verfügung, um überschüssig erzeugten Strom verwenden zu können.

Die Brennstoffzelle besitzt eine **maximale elektrische Ausgangsleistung** von $P_{BZ_{el}} = 4000 \text{ W}$. Der **elektrische Wirkungsgrad** beträgt **39%**. Die Brennstoffzelle weist eine (über den gesamten Leistungsbereich) konstante **Stromkennzahl** $\frac{a}{b} = 0,8$ auf.

Hinweis: Die Stromkennzahl beschreibt das Verhältnis von abgegebenem Stromanteil zu Wärmeanteil.

Nehmen Sie vereinfachend an, dass die gegebenen Wirkungsgrade über den kompletten Leistungsbereich der Anlage konstant sind.

- a. (4) Welche **Stromabgabe** erfolgt durch die Brennstoffzelle, wenn diese wärmegeführt ist und genau die Heiz-Last deckt?
- b. (3) Wie hoch ist für den in Punkt (a) beschriebenen Betriebsfall die **überschüssig erzeugte elektrische Leistung**?
- c. (12) Mit welcher **elektrischen und thermischen Ausgangsleistung** wird die Brennstoffzelle betrieben, wenn berücksichtigt wird, dass der überschüssig erzeugte Strom über die Wärmepumpe ebenfalls zur Deckung der Wärmelast verwendet werden kann?
- d. (3) Wie hoch ist hierfür die benötigte **Brennstoffzufuhr** ($P_{Brennstoff}$) der Brennstoffzelle?
- e. (3) Wie hoch ist der **Gesamtwirkungsgrad** der **dezentralen Versorgung**?