

Schriftliche Prüfung aus „Energieübertragung und Kraftwerke“, am 29.01.2013

Name/Vorname: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Matr.-Nr./Knz.: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

1. 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                                | 255 kJ/kg |
| Spez. Turbinenarbeit   | 745 kJ/kg  | Spez. Kompressionsarbeit -Speisewasserpumpe         | 10 kJ/kg  |
| Spez. Wärmezufuhr      | 1035 kJ/kg | Spez. Wärmeauskopplung Fernwärme                    | 210 kJ/kg |
| Spez. Wärmeabgabe      | 615 kJ/kg  | Spez. Wärmezufuhr der DT = Spez. Wärmeabgabe der GT |           |

Vereinfacht wird der Wärmetauscher zwischen Gas- und Dampfteil zunächst als ideal angenommen.

- (8) Zeichnen Sie das **Ersatzschaltbild** des **kombinierten Gas- und Dampfprozesses** und **beschriften** Sie die Symbole. Zeichnen Sie das **T, s-Diagramm des kombinierten Gas- und Dampfprozesses** und kennzeichnen Sie die Bereiche der **zu- und abgeführten Wärme** beider Prozesse ein.
- (4) Bestimmen Sie den Wirkungsgrad der Gasturbine.
- (5) Bestimmen Sie den Wirkungsgrad der Dampfturbine **mit** und **ohne** Fernwärmeauskopplung.
- (4) Bestimmen Sie den Wirkungsgrad der gesamten GuD-Anlage **mit** und **ohne** Fernwärmeauskopplung.
- (4) Wie ändern sich die Wirkungsgrade aus **Punkt d)**, wenn die Wärmeübertragung zwischen Gas- und Dampfteil nicht als ideal angenommen wird, sondern mit **Verlusten von 20%** behaftet ist?

2. Kurzschlussstrom (25 Punkte)

In einem Mittelspannungs-Netz ist von einem maximalen dreipoliger Kurzschlusswechselstrom von  $I''_{k3p} = 20 \text{ kA}$  auszugehen.

Die Impedanz der Fehlerschleife ist  $R = 0,05 \Omega$ ,  $X = 0,44 \Omega$ .

Der Kurzschluss wird innerhalb von 100 ms abgeschaltet. Der Kurzschlusswechselstrom klingt innerhalb von einer Sekunde auf 50% seines Anfangswertes ab ( $I_{k3p} = 0,5 I''_{k3p}$ ).

Das VPE-Kabel, über das der Kurzschlussstrom fließt, hat einen Querschnitt von  $A = 35 \text{ mm}^2$ . Nehmen Sie für das VPE-Kabel mit Kupferleitern eine Bemessungs-Kurzzeitstromdichte von

$$I_{thr}(1s) = 176 \text{ A/mm}^2$$

an.

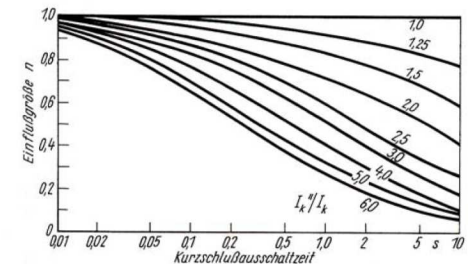
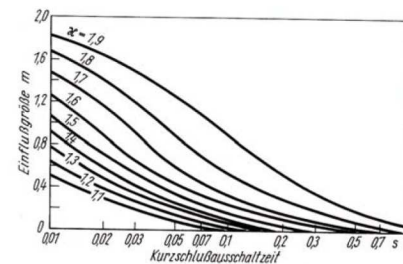
- (3) Bestimmen Sie den **Stoßfaktor  $\kappa$** .

Hinweis:  $\kappa = 1 + e^{-tR/L}$

Der Stoßfaktor beschreibt den Zusammenhang zwischen dem maximalen Stoßkurzschlussstrom und dem Anfangskurzschlusswechselstrom

- (3) Wie groß sind die **Faktoren m, n**?

Entnehmen Sie die Werte den unteren Abbildungen UND zeichnen Sie in den Abbildungen ein, wo Sie die Werte abgelesen haben.



- (3) Wie groß ist der **thermische Kurzzeitstrom** (100 ms)?
- (3) Welche **thermische Stromdichte** (100 ms) ergibt sich?
- (3) Würde das verwendete Kabel den Kurzschluss **zerstörungsfrei überstehen**?
- (5) Was wäre, wenn der Kurzschluss bereits nach **50 ms** abgeschaltet wird? Ist in diesem Fall das Kabel **thermisch überlastet**?
- (5) Wie groß muss der **Kabelquerschnitt** mindesten sein, damit das Kabel bei einer Abschaltzeit von 100 ms **nicht thermisch überlastet** wird?

## 3. Heizkraftwerk (25 Punkte)

Ein Heizkraftwerk arbeitet am Turbineneingang mit einem Druck von **100 bar** und einer Temperatur von **750°C**. Die Anlage arbeitet nach dem **Gegendruckprinzip** und weist **nach dem Kondensator** im Dampfturbinenkreis eine Temperatur von **104,8°C** auf.

Wirkungsgrade:

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| Kesselwirkungsgrad:                   | 85,0% |
| Turbinen- und Generatorwirkungsgrad:  | 91,0% |
| Heizungswirkungsgrad (Wärmetauscher): | 80,0% |

Die Arbeiten der Pumpen im Dampfkreislauf sind vernachlässigbar. Die Entspannung in der Dampfturbine kann als ideal adiabat angesehen werden.

- (6) Zeichnen Sie das **h-s Diagramm** sowie das **p-v Diagramm** des Dampfkreisprozesses und **kennzeichnen** Sie jeweils den **Bereich der Fernwärmeentnahme**.  
Hinweis: die Turbinenarbeit wird ausschließlich beim isentropen Übergang verrichtet, die Fernwärmeentnahme findet ausschließlich beim isobaren Übergang statt
- (7) Bestimmen Sie **Enthalpie, Druck und Temperatur am Turbinenausgang**
- (6) Bestimmen Sie den **Gesamtwirkungsgrad** der Anlage (inkl. Fernwärmeauskopplung).  
Hinweis: Versuchen Sie zunächst allgemein den Wirkungsgrad des Heizkraftwerks anzugeben
- (6) Welcher **Massestrom im Fernheizkreis** ist erforderlich, damit bei einer Vorlauf-temperatur von 100°C und einer Rücklauf-temperatur von 60 °C eine thermische Leistung von 250 MW ausgekoppelt werden kann.

## 4. Asynchrongenerator als Einspeiser (25 Punkte)

Ein Asynchrongenerator soll über ein Kabel in ein 400V-Niederspannungs-Netz mit einer Kurzschlussleistung von 3 MVA ( $c = 1,1$ ) einspeisen, der Winkel des Netzes beträgt 87°.

Daten des Asynchrongenerators:

$$\begin{array}{lll} \text{Nennbetrieb:} & S_N = 25 \text{ kVA} & \cos(\varphi_N) = 0,85 \\ \text{Anlauf:} & \frac{I_A}{I_N} = 4,5 & \left. \frac{R_M}{X_M} \right|_{\text{Anlauf}} = 0,05 \end{array}$$

Daten des Kabels:

$$R'_L = 0,5 \frac{\Omega}{\text{km}} \quad X'_L = 0,8 \frac{\Omega}{\text{km}} \quad \ell_L = 300 \text{ m}$$

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

Für die nun folgenden Berechnungen kann **eine Näherungsformel** verwendet werden:

- (6) Wie hoch ist die **schaltbedingte Spannungsänderung** im Moment des Zuschaltens des Generators? Ist diese **zulässig**?
- (3) Wie hoch ist die **stationäre Spannungsanhebung**? Ist diese **zulässig**?
- (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?
- (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)?
- (3) Durch Kondensatoren wird die Blindleistung des Generators kompensiert. Wie groß muss der sich ergebende **Leistungsfaktor**  $\cos(\varphi_{\text{Motor+Kondensatoren}})$  mindestens sein, damit die stationäre Spannungsanhebung im zulässigen Bereich bleibt?